



## Campus de São Carlos

METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA ALTERABILIDADE DE R  
À PARTIR DE ESTUDO EXPERIMENTAL EM AMOSTRAS DE BASA  
TOS DA U.H.E. DE TRÊS IRMÃOS - ESTADO DE SÃO PAULO

AUTOR: ELY BORGES FRAZÃO

ORIENTADOR: PROF. DR. ANTENOR BRAGA PARAGUASSU

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**



**ESCOLA DE ENGENHARIA  
DE SÃO CARLOS**

✓

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS



METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA ALTERABILIDADE DE ROCHAS  
A PARTIR DE ESTUDO EXPERIMENTAL EM AMOSTRAS DE  
BASALTOS DA UHE DE TRÊS IRMÃOS - ESTADO DE SÃO PAULO.

ELY BORGES FRAZÃO

ORIENTADOR: PROF. DR. ANTENOR BRAGA PARAGUASSU

DEDALUS - Acervo - EESC



31100013594

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do título de doutor em Geotecnia.

São Carlos, SP

1993

Class. Lese - EESC  
Cutt. 2343  
Tombo 013194

Geotenia

st 0739934

**SUMÁRIO**

p.

AGRADECIMENTOS .....	viii
RESUMO .....	xi
ABSTRACT .....	xii
APRESENTAÇÃO DO TRABALHO .....	1
1 INTRODUÇÃO .....	3
2 OBJETIVOS DO ESTUDO .....	8
3 SÍNTESE DA GEOLOGIA DA REGIÃO DA UHE DE TRÊS IRMÃOS .....	9
4 GENERALIDADES SOBRE ALTERAÇÃO E ALTERABILIDADE DE ROCHAS ..	12
5 ÍNDICES DE ALTERAÇÃO E DE ALTERABILIDADE .....	20
5.1 Petrografia .....	20
5.2 Índices Físicos .....	21
5.3 Propagação de ondas ultra-sônicas .....	23
5.4 Granulometria .....	24
5.5 Resistência e deformabilidade .....	27
5.6 Granulometria conjugada à resistência .....	28
6 PROGRAMA DE ESTUDO ADOTADO .....	31
7 AMOSTRAGEM .....	32
8 ENSAIOS E ANÁLISES ADOTADOS NO ESTUDO .....	35
9 DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS DE ENSAIOS .....	41
9.1 Ensaio de alteração por saturação e secagem .....	41
9.2 Ensaio de alteração por imersão em etileno-glicol .....	43
9.3 Ensaio de abrasão "Los Angeles" .....	43
9.4 Análises granulométricas .....	44
9.5 Determinação da velocidade de propagação de ondas .....	45

9.6	Ensaios de compressão uniaxial .....	45
9.7	Determinação de índices físicos .....	46
9.8	Ensaios de impacto Treton .....	46
9.9	Análises petrográficas e difratométricas .....	46
10	PROGRAMAÇÃO DOS ENSAIOS DE ALTERAÇÃO .....	48
11	ACOMPANHAMENTO DOS ENSAIOS DE ALTERAÇÃO .....	53
11.1	Análise com base nas perdas de massa .....	59
11.2	Análise com base na granulometria .....	64
12	RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO .....	80
13	ÍNDICES DE ALTERABILIDADE .....	97
14	CONCLUSÕES .....	117
	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....	121
	MÉTODO DE ENSAIO (SUGESTÃO) .....	124
	REFERÊNCIAS .....	134
	ANEXO .....	140

## SUMÁRIO

### FIGURAS

1 - Mapa de situação da Usina Hidrelétrica de Três Irmãos .....	11
2 - Seqüência de operações para obtenção de material para estudo .....	34
3 - Diagrama dos ensaios e análises adotados para caracterização tecnológica .....	36
4 - Fluxograma dos ensaios e análises adotados no estudo da alterabilidade dos basaltos .....	38
5 - Evolução do ganho de água, por imersão, com o tempo para amostras dos blocos 11 e 21 .....	42
6 - Evolução da perda de água, por secagem em estufa, com o tempo para amostras dos blocos 11 e 21 .....	42
7 - Evolução dos valores de perda de massa por ciclagem (P1) e por abrasão das amostras cicladas (P5) referentes aos ensaios de alteração experimental com amostras do bloco 11/graduação "A" .....	49
8 - Evolução dos valores de perda de massa por ciclagem (P1) e por abrasão das amostras cicladas (P5) referentes aos ensaios de alteração experimental com amostras do bloco 11/graduação "E" .....	49
9 - Distribuição dos ciclos adotada para as amostras dos quatro blocos de basalto .....	52
10 - Evolução dos parâmetros, P1, P2, P3, P4 e P5 referentes ao bloco 01 .....	60
11 - Evolução dos parâmetros, P1, P2, P3, P4 e P5 referentes ao bloco 05/10 .....	60
12 - Evolução dos parâmetros, P1, P2, P3, P4 e P5 referentes ao bloco 11 .....	62
13 - Evolução dos parâmetros, P1, P2, P3, P4 e P5 referentes ao bloco 21 .....	62
14 - Distribuições granulométricas, após ciclagem, das amostras do bloco 01 .....	65
15 - Distribuições granulométricas, após abrasão, das amostras do bloco 01 .....	67

16 - Distribuições granulométricas médias das amostras do bloco 01 .....	68
17 - Distribuições granulométricas, após ciclagem, das amostras do bloco 05/10 .....	69
18 - Distribuições granulométricas, após abrasão, das amostras do bloco 05/10 .....	70
19 - Distribuições granulométricas médias das amostras do bloco 05/10 .....	71
20 - Distribuições granulométricas, após ciclagem, das amostras do bloco 11 .....	72
21 - Distribuições granulométricas, após abrasão, das amostras do bloco 11 .....	73
22 - Distribuições granulométricas médias das amostras do bloco 11 .....	76
23 - Distribuições granulométricas, após ciclagem, das amostras do bloco 21 .....	77
24 - Distribuições granulométricas, após abrasão, das amostras do bloco 21 .....	78
25 - Distribuições granulométricas médias das amostras do bloco 21 .....	79
26 - Gráfico de máximos e mínimos dos valores de perda de massa por imersão em etileno-glicol .....	89
27 - Gráfico de máximos e mínimos dos valores de perda de massa por abrasão "Los Angeles" .....	89
28 - Gráfico de máximos e mínimos dos valores de velocidade de propagação de ultra-som no estado seco .....	90
29 - Gráfico de máximos e mínimos dos valores de velocidade de propagação de ultra-som no estado saturado .....	90
30 - Gráfico de máximos e mínimos dos valores de tensão de ruptura na compressão uniaxial .....	91
31 - Gráfico de máximos e mínimos dos valores de massa específica aparente seca .....	91
32 - Gráfico de máximos e mínimos dos valores de porosidade aparente .....	92
33 - Gráfico de máximos e mínimos dos valores de absorção de água .....	92
34 - Gráfico de máximos e mínimos dos valores de perda de massa por impacto Treton .....	93

35 - Evolução do índice $K\Delta t$ com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto .....	102
36 - Evolução do índice $R_f$ com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto .....	104
37 - Evolução do índice $\Delta R$ com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto .....	106
38 - Evolução do índice IDE com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto .....	108
39 - Evolução do índice MFC com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto .....	109
40 - Evolução do índice IMFc com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto .....	110
41 - Evolução do índice MFa com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto .....	112
42 - Evolução do índice IMFa com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto .....	113
43 - Evolução do índice MFT com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto .....	114
44 - Evolução do índice IMFt com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto .....	115
45 - Representação da distribuição dos valores de índices de alterabilidade para o 18º ciclo e índices obtidos a partir dos resultados da caracterização tecnológica ....	116

**QUADRO**

- 1 - Proposições para avaliar o estado de alteração e  
alterabilidade de rochas, segundo diversos  
autores ..... 18

**TABELAS**

1 - Resultados dos ensaios de alteração efetuados em amostras do bloco 01 .....	54
2 - Resultados dos ensaios de alteração efetuados em amostras do bloco 05/10 .....	55
3 - Resultados dos ensaios de alteração efetuados em amostras do bloco 11 .....	56
4 - Resultados dos ensaios de alteração efetuados em amostras do bloco 21 .....	57
5 - Características petrográficas das amostras do bloco 01...	81
6 - Características petrográficas das amostras do bloco 05...	82
7 - Características petrográficas das amostras do bloco 10...	83
8 - Características petrográficas das amostras do bloco 11...	84
9 - Características petrográficas das amostras do bloco 21...	85
10 - Resultados dos ensaios de caracterização tecnológica.....	87
11 - Resultados de alguns índices de alteração ou de alterabilidade, calculados com base nos ensaios de caracterização, tomando como referência os resultados do bloco 21 .....	96
12 - Índices de alterabilidade calculados a partir de resultados de ensaios de ciclagem e abrasão "Los Angeles" para o bloco 01 .....	98
13 - Índices de alterabilidade calculados a partir de resultados de ensaios de ciclagem e abrasão "Los Angeles" para o bloco 05/10 .....	99
14 - Índices de alterabilidade calculados a partir de resultados de ensaios de ciclagem e abrasão "Los Angeles" para o bloco 11 .....	100
15 - Índices de alterabilidade calculados a partir de resultados de ensaios de ciclagem e abrasão "Los Angeles" para o bloco 21 .....	101
16 - Resultados de índices de degradação (ID) para as amostras dos quatro blocos de basalto .....	107

### AGRADECIMENTOS

Desejo expressar meus agradecimentos a todos aqueles que direta ou indiretamente tornaram possível a realização deste trabalho.

Expresso meus agradecimentos, ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT que, através da Divisão de Geologia-Digeo, colocou à minha disposição a infra-estrutura material e humana para a realização dos estudos e para a elaboração desta monografia.

Ao geólogo Márcio Angelieri Cunha, como Coordenador da Digeo e como profissional, pelo incentivo que tem prestado a toda atividade técnica que se insira no desenvolvimento tecnológico e pelo apoio pessoal para finalização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Antenor Braga Paraguassu, que além de honrar-me com o convite para realizar minhas atividades de pós-graduação no Departamento de Geotecnica da Escola de Engenharia de São Carlos, dispensou-me valiosa atenção, permanente estímulo e desprendida colaboração, o que muito auxiliou o desenvolvimento do presente trabalho.

À Cesp - Companhia Energética de São Paulo que, através da Direção do Laboratório Central de Engenharia Civil-LCEC e das equipes de Geologia e de Mecânica de Rochas, acolheram prontamente o plano de pesquisa proposto e colaboraram com a sua implementação, principalmente na fase de realização dos ensaios laboratoriais.

Aos engenheiros José Luiz Ferraz e Taylor Castro Oliveira e ao geólogo Luiz Alberto Minicucci e João Antonio Armelin pela

colaboração prestada na discussão e implantação do estudo e no acompanhamento dos ensaios no LCEC.

Ao Prof. Dr. Paulo Teixeira Cruz que, na época consultor da Cesp, apresentou valiosas sugestões para desenvolvimento dos trabalhos.

Ao geólogo Antonio Carlos Verdiani do LCEC pela pronta cessão de informações complementares sobre a geologia da região da UHE de Três Irmãos.

À geóloga Maria Heloísa Barros de Oliveira Frascá pela execução das análises petrográficas e pela disponibilidade demonstrada na revisão dos dados petrográficos.

Aos geólogos Jáiro de Sant'Anna Taddeo e Eleno de Paula Rodrigues que, estando em diferentes épocas na chefia do Agrupamento de Petrologia, apoiaram o desenvolvimento do estudo.

Ao geólogo Dr. José Eduardo Siqueira Farjallat que sempre me incentivou à pesquisa tecnológica e, em particular, sobre o complexo tema da alterabilidade de rochas.

Ao geólogo Dr. Fábio Taioli que, como amigo e colega de trabalho, muito me estimulou a prosseguir na difícil tarefa de transformar nesta monografia a minha limitada experiência no cativante tema da alterabilidade de rochas.

Aos colegas geólogo Luiz Geraldo Caruso, tecnólogo Fábio Conrado de Queiróz e técnico Dogival Ferreira da Silva pelo apoio sempre presente.

Ao engenheiro Shoichiro João Mitsui pela inestimável colaboração prestada na confecção das tabelas e figuras e à estagiária de Geologia Valéria Claro Sanches pela valiosa colaboração na tabulação dos resultados do estudo.

Aos demais colegas do Agrupamento de Tecnologia de Materiais Rochosos da Digeo pela cooperação permanente.

À Renata Mazzetto pelo valioso auxílio na digitação do texto; à Maria Solange de O. Pereira pela revisão das referências bibliográficas; à Marlene Santana pela revisão gramatical e à Maria Lúcia Félix Gonçalves pela cooperação nas atividades do Agrupamento que me facilitou dispor da infra-estrutura necessária a esse trabalho.

A Lilian, minha esposa, e Fábio e Luciana, meus filhos, pelo estímulo constante e pela compreensão dispensada nas fases mais difíceis desta tarefa.

## RESUMO

Estudo experimental sobre alterabilidade de basaltos das fundações da Usina Hidrelétrica de Três Irmãos constou da execução de ensaios de alteração, por ciclos de saturação e secagem, e de abrasão "Los Angeles" efetuados após ensaios de alteração. O ensaio de abrasão "Los Angeles" foi adotado como parâmetro mecânico auxiliar na quantificação da desagregação. Análises granulométricas também foram utilizadas com o mesmo objetivo. Foram executados, ainda, ensaios físico-mecânicos e análises petrográficas para a caracterização tecnológica das amostras.

A distribuição dos valores de perda de massa por alteração e por abrasão, em função do tempo (ciclos), e as distribuições granulométricas apresentadas após esses ensaios, permitiram avaliar com clareza a desagregabilidade das amostras.

Aos resultados das perdas de massa por alteração e por abrasão foram aplicados critérios de cálculo sugeridos por diferentes autores, para fixar índices de alterabilidade de rochas. Os índices adotados permitiram estabelecer a seqüência de alterabilidade dos basaltos estudados.

A partir dos resultados obtidos no estudo, foi possível, ainda, estabelecer uma proposta de procedimento para avaliar a alterabilidade de rochas, com contribuição para normalização de ensaios de alteração.

## ABSTRACT

An experimental study on the alterability of basalts from Três Irmãos Hydroelectric Dam foundation was performed by means of alteration test, and "Los Angeles" abrasion tests carried out after the samples have been submitted to alteration test. L.A. test was adopted as a mechanical parameter in order to quantify the disaggregation. Grain size analyses were also used as a complementary quantification form. Additionally, some physico-mechanical standard tests and petrographical analyses were done for the technological characterization of the various samples.

The distribution of values of mass loss due to alteration and abrasion, with the time (cycles), and the grain size distribution presented, after those tests, allowed the evaluation of disaggregation of the studied samples.

Several criteria of calculations, as suggested by different authors, were used to define alterability indexes. The indexes adopted allowed to evaluate properly the alterability of the studied basaltic rocks.

The results here obtained provided conditions to establish a proposition of a standard procedure to evaluate rock alterability through experimental tests.

## **APRESENTAÇÃO DO TRABALHO**

O presente trabalho é o resultado de um esforço conjunto, na década de 80, entre o Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT e a Cesp - Companhia Energética de São Paulo para retomar os estudos sobre alterabilidade de rochas basálticas que haviam alcançado seu auge na década de 70. Nesse período foram implantados, e implementados, importantes complexos hidrelétricos na Bacia do Paraná, para os quais os materiais pétreos de construção provinham diretamente da exploração de derrames basálticos e de produtos de alteração de rochas, tais como cascalhos e areias de aluvões, de coluviões e de leito de rio.

A desagregação de alguns tipos de basaltos foi motivo de preocupação nessa década. Apesar de grande número de contribuições ao conhecimento do fenômeno ter sido divulgado em eventos de Geologia de Engenharia, a metodologia para caracterização da alterabilidade e, por consequência, para previsão da desagregabilidade das rochas basálticas não ficou, porém, claramente estabelecida. Como decorrência, permaneceram algumas incertezas quanto aos procedimentos mais adequados a serem adotados em cada nova situação de trabalho.

A conjugação de interesses dessas duas instituições visava justamente a estabelecer uma padronização de procedimentos que não fosse somente mais uma contribuição ao meio técnico, mas que, à luz das experiências anteriores, pudesse orientar a prática laboratorial e, se possível de campo, para a obtenção de parâmetros quantitativos, e portanto mais objetivos, para definir a potencialidade dessas rochas à desagregação.

A Cesp, apesar do intenso patrocínio dos estudos nesse período, e o IPT, seu principal implementador, ressentem-se ainda hoje de procedimentos que estabeleçam referências seguras para julgar a alterabilidade de rochas basálticas ante as diversas condicionantes dos projetos de engenharia civil. Julgou-se, porém, que, apesar de toda a complexidade envolvida no tema, era possível revisar a literatura, escolher sugestões promissoras, testá-las em materiais considerados potencialmente problemáticos e propor novas sugestões, com base em verificação prática de procedimentos sugeridos por diversos autores.

Como primeiros produtos dessa iniciativa resultaram um artigo publicado nos anais do "Simpósio sobre a Geotecnia da Bacia do Alto Paraná" e o Relatório IPT nº 23 120 "Revisão dos estudos de alterabilidade de rochas basálticas/Projeto de Desenvolvimento Tecnológico nº 8110.01.3", de 1986, que coroavam a primeira fase de um amplo programa de estudos pretendido pelas duas instituições.

O presente trabalho baseou-se nos resultados produzidos nessa fase, sobre os quais foram dados tratamento analítico mais profundo, ampliação de conteúdo e revisão estética para atender aos requisitos de uma monografia.

## 1 INTRODUÇÃO

A grande distribuição, em área, dos magmatitos básicos na Bacia do Paraná, seja na forma de derrames, ou diques e sills, constitui importantes fontes de material de construção nas regiões de implantação de obras de grande porte, tais como usinas hidrelétricas, rodovias, ferrovias e obras de arte relacionadas.

As obras das UHEs consomem milhões de metros cúbicos desses materiais, e de seus produtos de alteração, em concreto, enrocamentos, enseadeiras e obras de infra-estrutura aos empreendimentos civis.

Os basaltos das regiões onde se instalaram as grandes obras apresentam grande variação de comportamento geotécnico e tecnológico devido, principalmente, as suas diferentes características petrográficas. São basaltos do tipo compacto preto de granulação fina (como os da UHE de Ilha Solteira e pedreira de Olímpia, no Estado de São Paulo), compacto altamente cristalino (como os do tipo gabróide dos sills da UHE de Xavantes), vítreo (como os das UHE de Passo Fundo, do vale do rio Taimbezinho e região de São Marcos, no Estado do Rio Grande do Sul), compacto preto e cinza-esverdeado (como os da UHE de Três Irmãos, no Estado de São Paulo), vesiculares e/ou amigdaloidais (como os de topo e de base de derrames de quase todos esses locais).

O principal problema ligado a esses basaltos é sua alterabilidade, pois alguns, apesar de aparentemente inalteráveis e resistentes, não suportam as solicitações intempéricas do ambiente criado pela obra, desagregando-se completamente após algumas semanas. Este é o caso do basalto usado como enrocamento

da ponte do rio Sucuriú, próximo ao Complexo Urubupungá (FARJALLAT 1969 e 1974). Aliás, RUIZ (1963) já havia identificado o fenômeno da desagregação precoce nos basaltos utilizados como proteção do talude de montante das ensacadeiras de terra compactada da barragem de Jupiá (divisa dos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul). Constatou que, apesar dos estados de alteração dos litotipos serem variáveis, a desagregação, maior ou menor sempre ocorria quando um argilomineral verde-garrafa (esmectita), estava presente. Creditou à expansibilidade, por absorção d'água, de tal mineral como sendo responsável pelas desagregações.

A diversidade de características dos basaltos dos derrames de um mesmo local também se reflete em comportamentos diferentes, requerendo caracterização apropriada para adequada utilização. É o caso do basalto "GM" da UHE de Capivara, composto de mistura de material alterado friável com blocos semi-alterados, que foi utilizado como material de transição entre o aterro compactado e o enrocamento. Sua utilização só foi possível devido ao baixo custo de escavação, executada por simples escarificação (PAES DE BARROS, 1972).

Na UHE de Capivara ocorriam, também, três tipos de basaltos com diferentes comportamentos e que requereram estudos prévios de suas propriedades físicas, petrográficas e mecânicas, para subsidiar a decisão sobre o tipo de emprego de cada um na obra. FARJALLAT et al. (1972) e FARJALLAT e OLIVEIRA (1972) estudaram essas propriedades e as suas relações com a desagregabilidade. Notaram influência da capacidade de absorção d'água e do teor de argilominerais expansivos na

desagregabilidade e nas propriedades mecânicas. NIEBLE e CRUZ (1970) e CRUZ e NIEBLE (1971), a partir de ensaios físico-mecânicos, notaram nesses basaltos, deformabilidade excessiva e diminuição da resistência ao cisalhamento, o que requereria certos cuidados para seu uso como material de enrocamento. Optaram, assim, por utilizar os tipos de menor resistência no corpo do enrocamento, e os mais resistentes como camada externa de proteção.

Essa diversidade de comportamento sempre foi atribuída ao estado de alteração dos basaltos, o que era representado pelo maior ou menor teor de argilominerais, pela presença de outros minerais secundários, e ao estado microfissural. Correlações diretas não foram, porém, encontradas, e nem, tampouco, limites quantitativos seguros puderam ser estabelecidos para categorizar a sua potencialidade a desagregação. FARJALLAT, MONTEZZO e RATTI (1972) investigaram a influência de argilominerais expansivos (cujos teores foram semi-quantificados por técnicas difratométricas) na desagregação de basaltos (quantificada por ensaios de alteração). Concluíram que, apesar de certa dispersão de resultados, as rochas mais desagregáveis apresentavam maiores teores médios em argilominerais expansivos, embora algumas amostras também desagregáveis apresentassem teores em argilominerais tão baixos quanto as não-desagregáveis.

Os fatores acima, a porosidade global (intergranular e de microfissuras), a permeabilidade e suas relações com a desagregabilidade foram estudadas por FARJALLAT (1974).

A influência dos argilominerais expansivos na desagregação de rochas foi abordada por STRUILLOU (1969) como

sendo devido a propriedades elétricas (de superfície e de estrutura) das partículas, e à alta superfície específica desses minerais, que conduzem à atração e à incorporação de moléculas de água, ocasionando expansão. Estas, se não contidas pela trama mineral, ou por forças externas, levam o material portador dos argilominerais à ruína, pois as pressões desenvolvidas na expansão podem alcançar valores relativamente elevados, dependendo do teor de umidade inicial e do valor da massa específica aparente seca. FRAZÃO (1981) detectou pressão de expansão de 0,76 MPa (7,71 kgf/cm<sup>2</sup>), para teor de umidade inicial de 0,3% e massa específica de 1.300 kg/m<sup>3</sup>, em ensaios com argila de composição predominantemente esmectítica.

FRAZÃO e CARUSO (1983) apresentaram as características de diferentes tipos de basaltos e a influência da alterabilidade no comportamento físico-mecânico e, por consequência, no tipo de uso desses materiais em 11 barragens na bacia do Alto Paraná.

A preocupação com a degradação de base, sub-base e camada betuminosa de rodovias, devido à desagregação de materiais rochosos, foi ressaltada por WEST, JOHNSON e SMITH (1970). Estes autores recomendam estabelecer critérios rigorosos, e confiáveis, na seleção dos materiais para esse tipo de uso, pois os materiais na forma de agregados ocupam 90% em peso nesse tipo de obra.

Problemas relativos à desagregação de basaltos em lastro de ferrovia foram estudados por FRAZÃO (1987), em um longo trecho do Sistema Regional Sul da Rede Ferroviária Federal, onde foi usado basalto amigdaloidal que teve sua granulometria totalmente degradada.

Diversos autores têm procurado expressar a alterabilidade das rochas por um número que possa permitir comparar os diferentes tipos de material e, também, fornecer uma previsão da sua desagregabilidade, ou de modificação de seu comportamento mecânico com ou sem desagregação. Tal se verifica em virtude da influência de diferentes agentes na desagregação e inexistência de uma clara visão da preponderância de cada um, e na ausência de uma formulação paramétrica de uso prático na engenharia.

Inserem-se nesta linha os trabalhos de FARJALLAT (1971, 1972, 1973 e 1974), YOSHIDA (1972), FARJALLAT et al. (1972), LADEIRA e MINETTE (1984a e 1984b), dentre outros.

A vertente de se procurar expressar a alterabilidade dos basaltos por um índice numérico que permita a previsão da desagregabilidade constitui o eixo deste trabalho.

## 2 OBJETIVOS DO ESTUDO

O estudo que ora foi desenvolvido procurou alcançar os seguintes objetivos:

- 1) testar procedimentos de ensaios, já adotados por diversos pesquisadores e também aqueles já normalizados;
- 2) aplicar índices de alterabilidades sugeridos por diversos pesquisadores;
- 3) efetuar análise comparativa dos índices sugeridos na literatura, para verificar sua eficácia na previsão da alterabilidade;
- 4) investigar a possibilidade de utilizar critérios já rotineiros como meios de previsão de alterabilidade;
- 5) investigar a possibilidade de sugerir novos índices, a partir dos resultados deste estudo; e
- 6) investigar a possibilidade de formular proposição de procedimento, para subsidiar normalização de ensaios de alteração.

### 3 SÍNTESSE DA GEOLOGIA DA REGIÃO DA UHE DE TRÊS IRMÃOS

A Usina Hidrelétrica de Três Irmãos é um barramento no rio Tietê inicialmente concebido para aumentar o volume hidráulico armazenável do reservatório da UHE de Ilha Solteira, em que a interligação dos lagos se faz através do Canal de Pereira Barreto (Figura 1). Posteriormente, houve decisão por destinar o recurso hidráulico armazenável em Três Irmãos também para geração de energia elétrica.

Na UHE de Três Irmãos funcionam também duas eclusas; uma de montante (eclusa I) e outra de jusante (eclusa II) que constituem, portanto, parte do complexo hidroviário do rio Tietê.

O empreendimento está localizado em zonas basálticas, constituídas por basaltos "densos", vesículo-amigdaloidais e brechas basálticas sendo estas rochas as principais unidades litológicas da região.

Os derrames podem ser individualizados em três zonas distintas: basal (constituída de basalto "denso"), intermediária (constituída de basalto vesículo-amigaloidal) e superior (constituída de brecha basáltica).

Os basaltos "densos" são, em geral, de coloração cinza-avermelhadas e cinza-esverdeadas, com estrutura compacta.

A zona de basalto "denso" variava em espessura em torno de 5 m, e revelava graus de alteração variáveis.

Ensaios preliminares por ciclagem água/estufa, executados em amostras, obtidas por testemunhagem, revelaram desagregações desde 3 a 6%, dependendo da cota atingida. Ensaio de alteração executado nas condições naturais revelaram perdas menores que 1%.

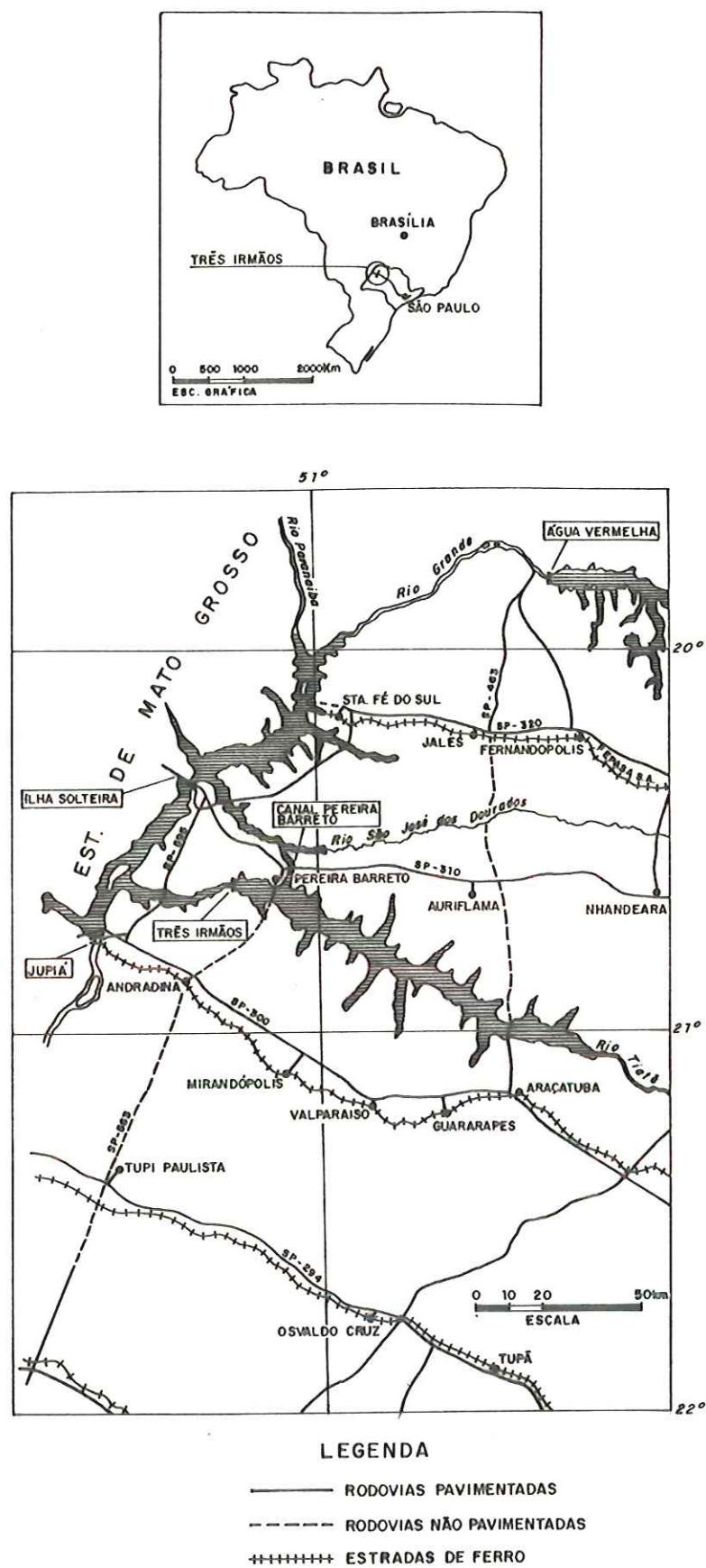


FIGURA 1 – Mapa de situação da Usina Hidrelétrica de Três Irmãos.

Nos basaltos "densos" foram executadas escavações em volume significativo, pois essa zona se constituiria nas fundações do núcleo de concreto da barragem e da eclusa de jusante.

Este fato motivou a intenção em investigar sua alterabilidade, pois, devido ao grande volume de material disponível, era de interesse, por razões econômicas, aproveitá-lo ao máximo em diferentes setores da obra.

O comportamento dos basaltos densos, analisado a partir dos blocos extraídos da escavação e colocados no pátio de estoque, revelou-se, porém, variável quanto à desagregabilidade.

#### 4 GENERALIDADES SOBRE ALTERAÇÃO E ALTERABILIDADE DE ROCHAS

Rochas de diferentes naturezas e sob diferentes formas e dimensões têm sido usadas como material de construção em diversas regiões do Globo, desde os primórdios da civilização.

Apesar das características de alta resistência e de alta durabilidade apresentadas pelas rochas na época de sua utilização, muitas modificações nas suas características iniciais podem surgir no decorrer do tempo.

A intensidade das modificações depende do tipo de rocha utilizada, do grau de alteração inicial e dos fatores ambientais a que estarão submetidas.

O fenômeno da alteração tem merecido estudos de pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento científico: geólogos e mineralogistas, pedólogos, geomorfólogos, engenheiros, dentre outros.

Na área da engenharia civil, têm sido numerosos os problemas provocados pelas modificações das características iniciais das rochas por processos de alteração, que levam à sua degradação. Dentre eles os principais problemas, relatados na literatura, podem ser resumidos em:

- a) modificação da distribuição granulométrica, quando usadas na forma de fragmentos;
- b) diminuição da resistência mecânica e aumento da deformabilidade;
- c) aumento da porosidade e da capacidade de absorção d'água;
- d) diminuição da aderência ao cimento Portland e da adesividade a ligantes betuminosos.

A alterabilidade talvez seja um dos mais complexos problemas que a engenharia civil tem enfrentado em todo o mundo, quando se trata de construir com esse tipo de material, pois todas as rochas são passíveis de sofrer transformações nas suas características físicas e mecânicas.

Tais transformações dependem do estado de alteração em que se encontram e do tipo e intensidade das solicitações físico-químicas e físico-mecânicas que vão enfrentar em serviço.

Do ponto de vista de engenharia, a alteração de uma rocha é todo processo que leve a modificações de seu desempenho. A intensidade delas em relação ao estado inicial, ou original, da rocha, pode caracterizar o seu grau de alteração. Por exemplo, do ponto de vista mecânico, um certo volume de uma rocha é dito mais alterado que outro volume da mesma rocha se os valores das características mecânicas do primeiro são mais baixos (HAMROL, 1962). Do ponto de vista petrográfico, no entanto, o grau de alteração é caracterizado pelo teor de minerais alterados, pelo teor de minerais secundários e pela quantidade e tipo de microfissuração (inter ou intracristalina).

A alterabilidade, por sua vez, é definida como a aptidão, maior ou menor, da rocha a se alterar, ou seja, de apresentar maior ou menor modificação de suas propriedades ao longo do tempo (AIRES-BARROS, 1971).

O fenômeno de alteração das rochas é dependente de fatores intrínsecos e extrínsecos. Dentre os fatores intrínsecos constam os relativos à natureza da rocha: composição mineralógica (e, por consequência, características químicas) e estado microfissural, (quantidade e dimensão das fissuras que, por sua

vez, influem na porosidade e na permeabilidade). Dentre os fatores extrínsecos constam os relativos ao meio ambiente, que são fatores climáticos em geral, e os do meio específico onde a rocha se encontra (AIRES-BARROS, op.cit.).

Este autor expressa a inter-relação entre os fatores intrínsecos (*i*) e os extrínsecos (*e*), como promotores da alteração (*m*), pela seguinte expressão:

$$m = f(i, e) \quad (1)$$

Os fatores intrínsecos, natureza mineralógica (*n*) e a superfície exposta às reações (*s*), são expressos da seguinte forma:

$$i = f_1(n, s) \quad (2)$$

Os fatores extrínsecos, assumidos como sendo temperatura (*T*), o potencial hidrogeniônico (*pH*), o potencial de oxirredução (*Eh*), a quantidade de água disponível (*l*) e as forças bióticas (*b*), são expressos da seguinte forma:

$$e = f_2(T, pH, Eh, l, b) \quad (3)$$

A estes fatores, o citado autor acrescenta o tempo (*t*), ficando a primeira expressão do seguinte modo:

$$m = f(i, e, t) \quad (4)$$

O fator tempo é de suma importância na avaliação da alterabilidade, pois diferentes tipos de rochas poderão alterar-se com intensidades diferentes para um mesmo tempo considerado.

A alteração de uma rocha basáltica, ou de qualquer outro tipo de rocha, se manifesta por dois mecanismos que podem estar associados ou não. Um mecanismo leva à desintegração, outro leva à decomposição.

A desintegração se reflete na perda de coesão da rocha e na progressiva individualização dos seus constituintes minerais, sem necessariamente haver modificação na natureza destes. A desintegração é um mecanismo exclusivamente físico.

A decomposição se reflete na modificação progressiva da natureza dos minerais, sem necessariamente ocorrer desagregação. A decomposição é um mecanismo exclusivamente físico-químico.

Em climas tropicais e subtropicais, entretanto, os dois mecanismos estão associados e são interdependentes.

Os principais mecanismos de desagregação são representados por tensões de tração geradas por:

- a) dilatação/contração dos minerais devido à oscilação de temperatura;
- b) expansão de sais por cristalização (cloreto, sulfatos, carbonatos, etc);
- c) expansão de minerais por absorção de água.

Os principais mecanismos de decomposição são representados por agentes químicos, tais como: dissolução, hidratação, hidrólise e oxirredução. Por fugir do escopo deste trabalho esses mecanismos de alteração não serão aqui abordados.

A análise das causas que motivam a alteração e seus efeitos nas propriedades físico-mecânicas são, entretanto, de extrema importância para uma avaliação segura do estado de alteração, bem como para previsão do comportamento da rocha, seja como maciço, seja na forma granular.

Nas situações rotineiras esta avaliação tem sido usualmente efetuada de maneira empírica, fornecendo apenas uma idéia qualitativa do estado de alteração e da alterabilidade.

A inexistência de métodos quantitativos padronizados para a estimativa da alteração leva a avaliações subjetivas e nem sempre corretas.

Por esta razão, torna-se imperativo encontrar métodos quantitativos que permitam estimar com a máxima objetividade possível tanto o grau de alteração como a alterabilidade das rochas.

Diversos autores têm buscado apresentar procedimentos nesse sentido, procurando eleger propriedades índices, sugerir métodos e estabelecer critérios para alcançar esse propósito.

O Quadro 1 apresenta uma síntese das principais proposições, formulada por diversos pesquisadores. Referem-se tanto a métodos de ensaios e análises, como aos critérios utilizáveis para qualificar a rocha no tocante aos aspectos já mencionados.

Como se pode notar, a diversidade de proposições é tão grande que a decisão pela adoção de qualquer delas se torna extremamente difícil.

A análise desses dados permite, porém, ressaltar a necessidade de superar alguns inconvenientes, tais como:

- a) estabelecer as características das amostras para testes, quanto à granulação representativa, bem como sua influência nos resultados;
- b) escolher propriedades que indiquem a melhor relação com o desempenho das rochas em serviço;
- c) estabelecer critérios de cálculo para a variação dessas propriedades com o tempo;
- d) buscar correlações dos resultados de ensaios de laboratório com o comportamento das rochas nas condições ambientais naturais (seja em amostras ou em afloramentos); e
- e) definir a validade e a aplicabilidade de resultados para a previsão do comportamento das rochas em serviço.

Autor(es)	Métodos Sugeridos	Critérios de avaliação do estado de alteração ou de alterabilidade
MORAES REGO e SOUZA SANTOS (1938)	Determinação da porosidade aparente.	Para um mesmo tipo petrográfico: maior porosidade mais alto grau de alteração.
PICHLER (1942)	Análise petrográfica e determinação da absorção d'água.	Se a petrografia indicar minerais alterados e a absorção for maior que 0,5%, a rocha deve ser rejeitada.
DAY (1962)	Análise petrográfica para basaltos associada a ensaio Deval modificado e granulometria dos finos.	Teores em minerais de alteração e variação da granulometria em relação à amostra original permitem avaliar estado de alteração e tomada de decisão sobre utilização ou rejeição do material.
HAMROL (1962) ✓	Absorção d'água e índice de vazios.	Relação entre variação de absorção e do índice de vazios, para o tempo considerado, permite definir a alterabilidade da rocha.
WEINERT (1964 e 1968)	Relação da evapotranspiração do mês de maior pluviosidade com a precipitação anual; análise petrográfica.	Índice climático N relacionado com a porcentagem de minerais secundários permite qualificar estado de alteração dos materiais e definir seu uso para sub-base, base e camada betuminosa de rodovias.
FARRAN e THENOZ (1965) ✓	Permeabilidade ao ar e superfície específica.	Para permeabilidade $> 0,1 \text{ mdy}$ , a alterabilidade cresce com o aumento da superfície específica.
ILIEV (1966)	Determinação da velocidade de propagação de ultrassom.	Índice que relaciona velocidades de ultra-som da rocha fresca e da rocha alterada define grau relativo de alteração.
MENDES, AIRES-BARROS e RODRIGUES (1966) e AIRES-BARROS (1969)	Análise petrográfica microscópica modal e ensaios mecânicos	Relação entre teor de minerais sãos e a soma dos teores de minerais alterados e de vazios gera índice, cujo valor, relacionado com módulo de elasticidade ou tensão de ruptura na compressão, permite avaliar a qualidade da rocha.
TALOBRE, 1967 (in YOSHIDA, 1972)	Ataque de amostras em pó e em corpos de prova de 1 x 1 x 2cm por H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> a 10% a (quente) após 1, 3, 5 e 7 h.	Perdas em massa não devem ultrapassar a 18% para amostra em pó e a 100 mg para os corpos-de-prova.

QUADRO 1 - Proposições para avaliar o estado de alteração e alterabilidade de rochas, segundo diversos autores.

(continua)

(continuação)

Autor(es)	Métodos Sugeridos	Critérios de avaliação do estado de alteração ou de alterabilidade
SCHNEIDER e PIRES DA ROCHA (1968)	Análise petrográfica para basaltos.	Teores em minerais secundários e em argilominerais, expansivos e não-expansivos, permitem avaliar estado de alteração e indicar necessidade ou não de execução de ensaios adicionais para decisão sobre utilização do material em rodovias.
KRAUSKOPF (in LOUGHNAN, 1969)	Análise química.	Índice que relaciona os teores em óxidos alcalino e alcalino terrosos e a soma destes com os de Si, Al e Fe, permite avaliar estado de alteração do material.
STRILLOU (1969)	Imersão de fragmentos de rocha de 10-20 mm, em H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /110 vol.	Comparação da porcentagem de material passante na malha de abertura 8mm com aquela apresentada por material de desempenho conhecido indica sua alterabilidade.
HRB (1970)	Ensaio de abrasão modificado conjugado à compactação.	Comparação entre granulometria, limites de Atterberg e equivalente de areia para material ensaiado e material original permite avaliar estado de alteração.
FARJALLAT (1971)	Ensaio de alteração por lixiviação em extrator Soxhlet associado a ensaio de abrasão "Los Angeles".	Relação conveniente entre porcentagem de material desagregado no ensaio de alteração com a porcentagem de perdas por abrasão define um índice de alterabilidade.
ROCHA (1971)	Amostra moída submetida à percolação contínua em extrator Soxhlet.	Perdas de massa para tempos preestabelecidos permite avaliar alterabilidade.
SCOTT (in FARJALLAT 1971)	Análise petrográfica para basaltos.	Teor em minerais secundários superior a 20% situa rocha fora das especificações de uso.
YOSHIDA (1972)	Diversos tipos de ensaios de alteração associados a ensaio de impacto Treton.	Similar ao critério de FARJALLAT (1971), define a alterabilidade por um índice de resistência.
LADEIRA e MINETTE (1984b)	Determinação de massa específica, porosidade e absorção d'água.	Relação conveniente entre esses valores para rocha alterada e para rocha sã define índices que expressam o estado de alteração do material.
LADEIRA e MINETTE (1986a)	Ensaios de resistência e de deformabilidade.	Critério similar ao citado acima.

QUADRO 1 - Proposição para avaliar o estado de alteração e alterabilidade de rochas, segundo diversos autores.

## 5 ÍNDICES DE ALTERAÇÃO E DE ALTERABILIDADE

Diversos pesquisadores que têm procurado representar o estado de alteração e a alterabilidade de rochas por parâmetros numéricos expressam-nos através de índices que relacionam valores de diferentes propriedades, para avaliar um mesmo estado de alteração, ou valores de certas propriedades para estados diferentes de alteração.

Nos ensaios de alteração têm sido sugerido relacionar os valores referentes ao estado inicial (ou a um dado estado de alteração) com valores do estado final (ou a um estado de alteração mais avançado).

Apresentam-se, a seguir, alguns dos principais índices de alteração e alterabilidade citados na literatura, desenvolvidos por diversos autores, com base em análises e ensaios de rotina utilizados para qualificação de materiais rochosos.

### 5.1 Petrografia

SCHNEIDER e PIRES da ROCHA (1968) citam como indicadoras de boa qualidade as seguintes características macroscópicas dos basaltos: cor preta, fratura uniforme, arestas e cantos vivos, ausência de vazios e de fissuras. Ao contrário, as características indicadoras de má qualidade seriam: cores claras (cinza-claro, cinza-esverdeado, etc), abundância de vazios, fratura irregular, arestas e cantos arredondados e alta produção de pó na britagem.

As características petrográficas macroscópicas não são, contudo, suficientes para avaliar a qualidade da rocha. A rocha deverá ser submetida, pois, à análise complementar ao microscópio

óptico e, se necessário, a análises mineralógicas indiretas, por meio de difratometria de raio-X ou de análise térmica diferencial.

Através das análises petrográficas microscópicas, podem-se qualificar e quantificar os minerais sãos e alterados de uma rocha, além de se avaliar o estado microfissural e determinar-se o teor de minerais secundários.

A partir destas informações, pode-se estabelecer um índice que revele o grau de alteração de uma rocha denominado "índice micropetrográfico de alteração",  $Ip$ , formulado com base em sugestão de MENDES, AIRES-BARROS e RODRIGUES (1966) e AIRES-BARROS (1969).

$$Ip = \frac{\% \text{ minerais sãos}}{\% \text{ minerais alterados} + \% \text{ minerais secundários} + \% \text{ vazios}} \quad (5)$$

Quanto menor o valor de  $Ip$ , maior será o grau de alteração da rocha.

O citado autor relaciona o índice micropetrográfico com o módulo de elasticidade de rochas graníticas, mostrando, entretanto, haver, fraca correlação.

A dificuldade em garantir representatividade através de lâminas petrográficas tem impedido a obtenção de boas correlações com propriedades físicas e mecânicas de rochas e, por isso, tem sido limitada a sua utilização para tal fim.

## 5.2 Índices Físicos

A modificação nos valores de propriedades físicas intrínsecas indica que a rocha se encontra em rápido processo de

alteração. A diminuição da densidade, o aumento da porosidade e da capacidade de absorção d'água refletem o avanço do processo de alteração.

A massa específica aparente de uma rocha diminui à medida que a alteração aumenta. O contrário ocorre com a porosidade e a absorção d'água. Relacionando o valor de qualquer destas propriedades da rocha, a um dado grau de alteração, com o valor apresentado por esta rocha no estado inicial, podem ser estabelecidos índices que caracterizem o seu grau de alteração (LADEIRA e MINETTE, 1984b).

a) índice de massa específica aparente (Id):

$$Id = \frac{d_o - d_w}{d_o} \quad (6)$$

onde:

$d_o$  = massa específica aparente inicial (ou do material a um estado menos avançado de alteração);

$d_w$  = massa específica final (ou do material a um estado mais avançado de alteração).

b) índice de porosidade aparente (In)

$$In = \frac{n_w - n_o}{n_w} \quad (7)$$

onde:

$n_o$  = porosidade aparente inicial (ou do material a um estado menos avançado de alteração);

$n_w$  = porosidade aparente final (ou do material a um estado mais avançado de alteração).

c) índice de absorção d'água (Ia):

$$Ia = \frac{a_w - a_o}{a_w} \quad (8)$$

onde:

$a_o$  = absorção d'água inicial (ou do material a um estado menos avançado de alteração);

$a_w$  = absorção d'água final (ou do material a um estado mais avançado de alteração).

Estes índices variam de zero (rocha sã) a 1 (rocha alterada).

A possibilidade de desagregação durante o ensaio de alteração, tem limitado a utilização desses parâmetros, a não ser nas fases iniciais dos ensaios, quando, em geral, as amostras ainda mantêm coesão.

### 5.3 Propagação de ondas ultra-sônicas

Quando uma rocha se altera, ocorre uma diminuição da velocidade de propagação de ondas devido, principalmente, ao aumento da porosidade. Relacionando os valores da velocidade de propagação de ondas da rocha sã com os valores para rocha a um dado estado de alteração, pode-se estabelecer um índice (Kvp) que caracterize o grau de alteração da rocha (ILIEV, 1966).

$$Kvp = \frac{Vp_o - Vp_w}{Vp_o} \quad (9)$$

onde:

$v_{po}$  = velocidade inicial de propagação de onda (ou do material a um estado menos avançado de alteração);

$v_{pw}$  = velocidade final de propagação de onda (ou do material a um dado estado mais avançado de alteração).

Este índice varia de zero (rocha sã) a 1 (rocha totalmente alterada).

A adoção desse parâmetro requer que a amostra apresente um mínimo de coesão, tal como citado para os índices físicos.

#### 5.4 Granulometria

Quando uma rocha, na forma de pedra britada, sofre alteração, ocorrerá desagregação. A intensidade dessa desagregação poderá ser quantificada pela quantidade de material desagregado, através de peneiramento, após a execução de um dado ensaio de alteração.

Podem-se calcular as porcentagens de material que passa na peneira de mínima abertura, na qual a amostra foi preparada, ou pela distribuição granulométrica total da amostra ao final do ensaio.

No primeiro caso, quanto maior a porcentagem de material passante na peneira, maior é a desagregabilidade da rocha.

Calcula-se a perda de massa ( $P_m$ ), segundo LADEIRA e MINETTE (1984b), pela seguinte expressão:

$$P_m = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \quad (10)$$

onde:

$M_0$  = massa seca inicial (ou do material a um estado menos avançado de alteração);

$M_1$  = massa seca final (ou do material a um estado mais avançado de alteração).

Esse critério, expresso em porcentagem, foi adotado por FARJALLAT (1971) e YOSHIDA (1972), dentre outros.

A partir de valores de perdas de massa de diferentes amostras, pode-se ainda calcular um índice que relate as amostras com alterabilidade diferentes através da expressão (FARJALLAT, op.cit.).

$$IPM = \frac{PM_W - PM_O}{PM_W} \quad (11)$$

onde:

$PM_W$  = perda de massa final (ou da amostra a um estágio mais avançado de alteração);

$PM_O$  = perda de massa inicial (ou da amostra a um estágio menos avançado de alteração).

No segundo caso, pode-se adotar qualquer parâmetro que reflita a modificação da distribuição granulométrica. Se for adotado o módulo de finura (MF), o qual resulta do somatório das porcentagens retidas acumuladas na série normal de peneiras dividido por 100, pode-se estabelecer o seguinte índice granulométrico IMF (FRAZÃO, este trabalho):

$$IMF = \frac{MF_O - MF_W}{MF_O} \quad (12)$$

onde:

$MF_O$  = módulo de finura inicial (ou do material a um estado menos avançado de alteração);

$MF_W$  = módulo de finura final (ou da rocha a um estado mais avançado de alteração).

Este índice varia de zero (rocha sã) a 1 (rocha alterada).

Aliás, o próprio módulo de finura pode ser utilizado como indicador de desagregação, quando comparados os valores antes e após o ensaio de alteração.

LOCKART e MARCHETTI (in Highway Research Board, 1970) propõem, para avaliar a qualidade de agregados para emprego em pavimentação, um "índice de degradação" baseado no afastamento da distribuição granulométrica, após compactação, em relação à distribuição granulométrica estabelecida inicialmente. BUZATTI (1975 e 1987) propõe um índice semelhante, também denominado "índice de degradação", que se baseia no mesmo princípio.

Este índice é definido pelo somatório dos afastamentos, em porcentagem acumulada em cada peneira, em relação à distribuição granulométrica da própria graduação de abrasão "Los Angeles" escolhida para qualificar inicialmente o material.

É expresso da seguinte forma:

$$ID = \frac{\sum \Delta i}{N} \quad (13)$$

onde:

ID = índice de degradação;

$\Delta i$  = afastamento da curva para a peneira considerada;

N = quantidade de peneiras da graduação escolhida.

Este autor adota também calcular um "índice de degradação" para a própria graduação escolhida. Para a graduação E, por exemplo, a qual é composta de materiais retidos nas malhas de 64 m (25%), 50 mm (25%) e 38 mm (50%), cuja acumulação será de 25%/50%/100%, esse ID será expresso por:

$$ID = (\%_{64} + \%_{50} + \%_{38})/3 = (25 + 50 + 100)/3, \text{ que resultará em } ID = 58,3\%.$$

O índice de degradação da curva considerada em relação ao da graduação E ( $ID_E$ ), expresso em porcentagem, será portanto:

$$ID_E = \frac{ID}{58,3} \times 100 \quad (14)$$

O índice de degradação assim calculado terá, pois, o limite inferior igual a zero (material não-degradável) e o superior igual a 100 (material totalmente degradável).

### 5.5 Resistência e deformabilidade

Quando uma rocha se altera, ocorre diminuição de sua resistência mecânica e aumento de sua deformabilidade devido a enfraquecimento das ligações intercristalinas. Relacionando os valores da rocha com os valores apresentados pela rocha num dado estado de alteração, pode-se estabelecer um índice que caracterize seu grau de alteração, IR ou IE (LADEIRA e MINETTE, 1984a), expressos da seguinte forma:

a) índice de resistência:

$$IR = \frac{R_O - R_W}{R_O} \quad (15)$$

onde:

$R_O$  = resistência inicial (ou do material a um estado menos avançado de alteração);

$R_W$  = resistência final (ou do material a um estado mais avançado de alteração).

b) índice de deformabilidade:

$$IE = \frac{E_O - E_W}{E_O} \quad (16)$$

onde:

$E_O$  = módulo de elasticidade inicial (ou do material a um estado menos avançado de alteração);

$E_W$  = módulo de elasticidade final (ou do material a um estado mais avançado de alteração).

Estes índices variam de zero (rocha sã) a 1 (rocha totalmente alterada).

Pela mesma razão citada para os índices físicos e velocidade de propagação, estes parâmetros só podem ser adotados enquanto as amostras mantiverem coesão.

### 5.6 Granulometria conjugada à resistência

Quando uma rocha na forma granular se altera, ocorre, concomitantemente, modificação na sua granulometria e na sua resistência mecânica ao longo do tempo. Desta forma, podem-se

associar os dois parâmetros e obter-se um índice que reflete o grau de alteração e a alterabilidade da rocha.

Se se considerar que uma rocha no estado granular pode desagregar-se totalmente, a quantidade de material passante na peneira de abertura mínima na qual foi retida atingirá a 100%. Se se considerar um ensaio que meça a resistência mecânica em porcentagem de material desagregado, a rocha que se desagregar totalmente apresentará, também, um valor de 100%. Resulta daí um valor global de 200%. Assim sendo, pode-se estabelecer o seguinte índice de alterabilidade  $K_{\Delta t}$  (FARJALLAT, 1971).

$$K_{\Delta t} = \frac{(200-I) - (200-F)}{200 - I} = 1 - \frac{(200-F)}{(200-I)} \quad (17)$$

onde:

$I$  = soma das perdas (em porcentagens de material desagregado) no início do processo devido à alteração e à queda da resistência mecânica;

$F$  = soma das perdas (em porcentagens de material desagregado) no final do processo devido à alteração e à queda da resistência mecânica;

200 = limite extremo para as quantidades (em porcentuais) de desagregação e de queda de resistência.

Note-se que, no início do processo, as perdas por alteração são iguais a zero.

Os valores deste índice situam-se entre zero e 1. Quanto menor o valor, menos alterada, ou alterável, é a rocha.

Pode-se também adotar uma variante do índice acima mencionado, sugerido por YOSHIDA (1972):

$$R_f = \frac{(100-P) R}{100} \quad (18)$$

onde:

100 = limite para porcentagem máxima de perdas;

$R_f$  = índice de resistência à alteração;

$P$  = porcentagem de perdas a um dado intervalo de tempo  
(ou a um dado estado de alteração);

$R$  = resistência mecânica do material a um dado tempo (ou  
a um dado estado de alteração).

Este índice varia de zero (rocha totalmente alterada) a  $R$  (rocha no estado são ou a um dado estado de alteração).

YOSHIDA (op.cit.) propõe, ainda, calcular a queda percentual de resistência, em relação à resistência mecânica inicial, para o intervalo de tempo considerado, através da seguinte expressão:

$$\Delta R = \frac{R_i - R_f}{R_i} \times 100 \quad (19)$$

onde:

$\Delta R$  = queda porcentual de resistência (%);

$R_i$  = resistência mecânica inicial (%);

$R_f$  = resistência mecânica ao final do intervalo de tempo  
considerado (%).

O intervalo de  $\Delta R$  varia de zero (ausência de queda de resistência) a 100 (queda total de resistência).

## 6 PROGRAMA DE ESTUDO ADOTADO

Considerando a existência de uma obra civil com fundações em basaltos, como era o caso da UHE de Três Irmãos, e da infra-estrutura no Laboratório Central de Engenharia, em Ilha Solteira, estabeleceu-se um programa de estudos que pudesse utilizar os materiais de interesse disponíveis nessa obra e que permitisse ser conduzido com os recursos humanos e instrumentais disponíveis nesse Laboratório, e, ainda, que o desenvolvimento dos estudos se compatibilizasse com as atividades laboratoriais de rotina ali vigentes.

O programa estabelecido procurou portanto:

- a) utilizar tipos petrográficos de basaltos oriundos das escavações, mas que apresentassem estados de alteração ou alterabilidades diferentes, a partir de verificações macroscópicas prévias;
- b) adotar ensaios de alteração que fossem de fácil execução e que refletissem adequadamente as condições ambientais vigentes no local da obra;
- c) conjugar um ensaio mecânico, também de fácil execução, que permitisse uma conveniente avaliação quantitativa da alterabilidade; e
- d) executar ensaios rotineiros de caracterização tecnológica que permitissem uma pré-qualificação dos materiais.

O desenvolvimento dos estudos seguiu, em linhas gerais, os procedimentos descritos nos capítulos seguintes.

## 7 AMOSTRAGEM

Os materiais estudados provieram de blocos de basaltos, os quais foram previamente alojados em uma área, a céu aberto, reservada para estoque, para seu eventual uso, tanto em enrocamento como para produção de agregados para concreto, a depender, entretanto, de sua alterabilidade.

Os blocos, montando a dezenas e com dimensões em torno de 2 m<sup>3</sup>, haviam sido catalogados (numerados) pela Cesp para facilitar o acompanhamento de seu comportamento ante às solicitações intempéricas.

As inspeções periódicas dos blocos, efetuadas durante cerca de 6 meses, revelaram que, com base nos efeitos de alteração macroscopicamente visíveis (tal como mudança de coloração, escamação, fissuração, etc.), os blocos apresentavam comportamento diversos diante das condições intempéricas do local.

Dentre os vários blocos inspecionados, foram escolhidos cinco que, com base nas feições de alteração descritos, variavam desde "não-alteráveis" até "muito alteráveis".

Os blocos escolhidos para estudo foram os de nºs 01, 05, 10, 11 e 21.

Estes blocos apresentavam as seguintes características macroscópicas:

- a) 01: basalto compacto marrom-avermelhado;
- b) 05: basalto compacto cinza-esverdeado;
- c) 10: basalto compacto cinza-esverdeado;
- d) 11: basalto compacto microvesicular cinza-esverdeado;
- e) 21: basalto compacto cinza-escuro.

Devido à semelhança macroscópica e às feições de alteração similares reveladas na exposição às condições intempéricas no pátio de estoque, as amostras dos blocos 05 e 10 foram estudadas conjuntamente sob as denominações de bloco 05/10.

Os blocos haviam sido armazenados em local isolado, dentro da área de estoque, para serem posteriormente submetidos à amostragem.

A amostragem constou, inicialmente, da extração de testemunhos, com sonda rotativa para a obtenção de corpos-de-prova regulares destinados aos ensaios de caracterização tecnológica e petrográfica.

As partes remanescentes dos blocos foram, posteriormente, submetidas à fragmentação, através de britagem mecânica na própria obra, e, depois, transferidas para o Laboratório Central de Engenharia Civil, em Ilha Solteira.

Nessa fase os fragmentos foram, ainda, afeiçoados manualmente, para eliminação de arestas e cantos vivos, de modo a tornar mínima a influência desses fatores morfológicos nos resultados dos ensaios.

A seguir foram submetidos à quarteação, para assegurar representatividade e para obtenção das quantidades de material necessárias ao estudo. As amostras foram preparadas em duplicata, prevendo a eventualidade da necessidade de confirmação de resultados a posteriori.

A Figura 2 ilustra a seqüência de operações para obtenção do material de estudo.

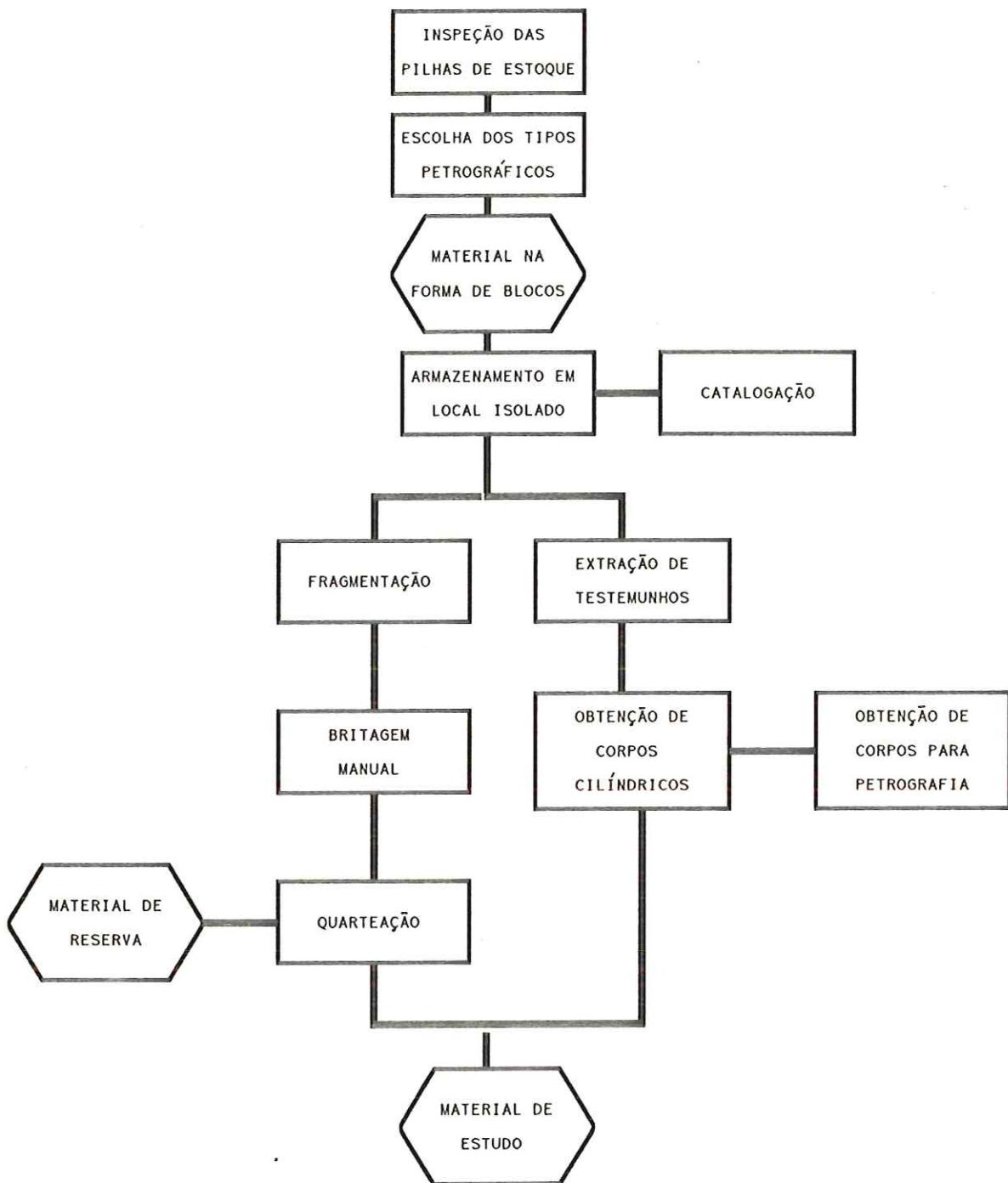


FIG.2 Sequência de operações para obtenção de material para estudo.

## 8 ENSAIOS E ANÁLISES ADOTADOS NO ESTUDO

A Figura 3 ilustra, esquematicamente, os ensaios e análises adotados.

Optou-se por utilizar ensaios de alteração pelo processo de ciclagem por saturação em água e secagem em estufa, por julgar-se que representaria melhor as condições ambientais vigentes num enrocamento de barragem, devido à natural oscilação de umidade e temperatura presente nestas condições de uso, particularmente na face montante.

Optou-se, também, por executar ensaios de abrasão "Los Angeles" nas amostras submetidas a ensaios de alteração por saturação/secagem, como meio de quantificar a eventual queda de resistência mecânica promovida por esses ensaios de alteração.

A escolha do ensaio de abrasão "Los Angeles" se deu por ser este um ensaio rotineiro, de fácil execução e de larga utilização para qualificação de rochas que se destinam ao uso em obras civis. Aliás, limites de valores deste ensaio são especificados por órgãos normalizadores e por instituições responsáveis por obras públicas, para orientar a aceitação, ou rejeição, de materiais rochosos a serem utilizados na forma granular.

Julgou-se adequado, também, que, para avaliar os efeitos dos ensaios de alteração por saturação/secagem, fossem executadas análises granulométricas das amostras após esses ensaios e após os de abrasão "Los Angeles", para, de posse da distribuição granulométrica, e do módulo de finura, obter informações complementares sobre a desagregabilidade das amostras.

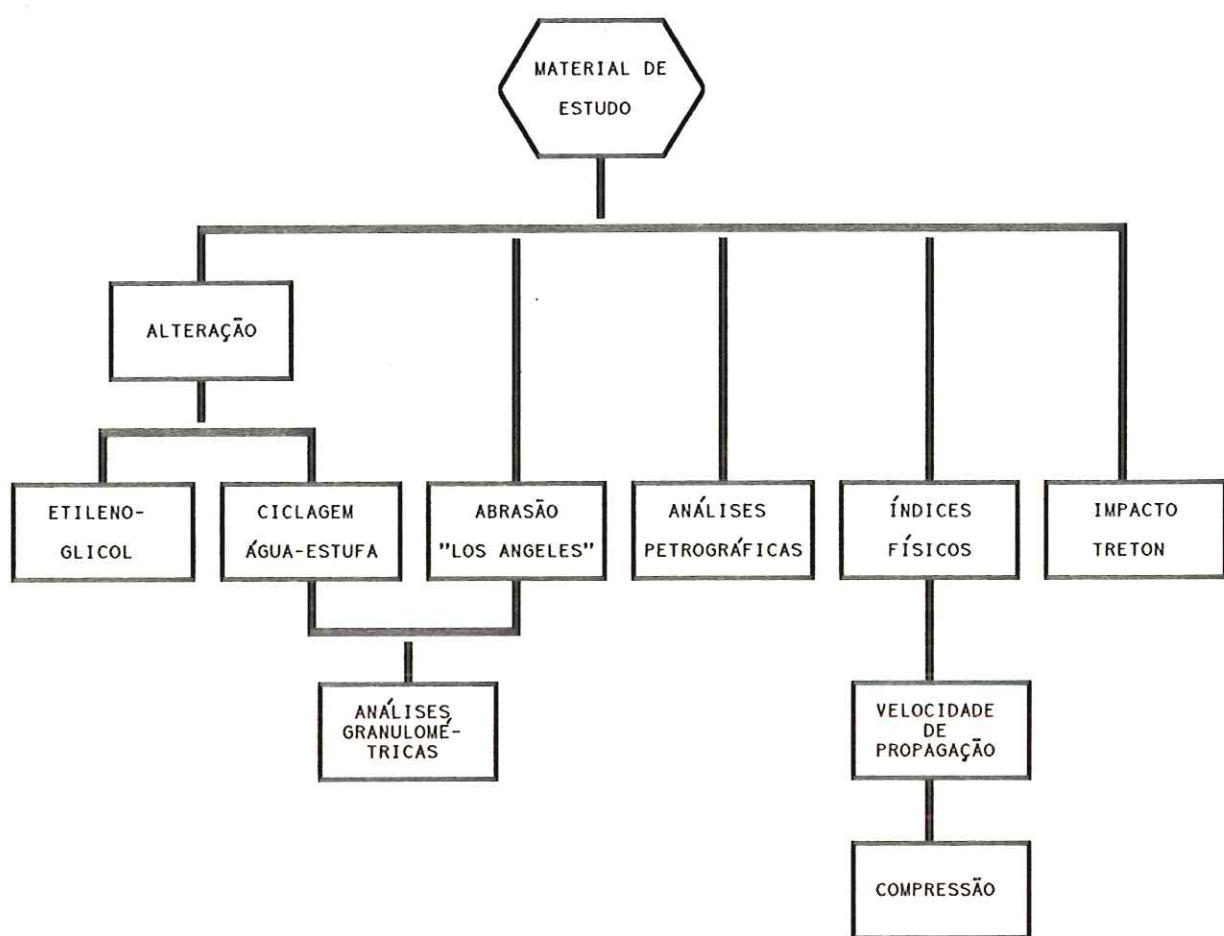


FIG.3 Diagrama dos ensaios e análises adotados para caracterização tecnológica.

Para prever o comportamento físico-mecânico das amostras e, também, complementar informações para permitir uma visão comparativa entre a alterabilidade das amostras, foram executados análises petrográficas, determinação de índices físicos (massa específica aparente, porosidade e absorção d'água) e de velocidade de propagação de ondas longitudinais, além de ensaios de compressão uniaxial e de impacto Treton.

Os procedimentos adotados para os ensaios de alteração estão ilustrados na Figura 4 e são detalhados a seguir:

- a) preparação das amostras com base na distribuição granulométrica da graduação "E" do ensaio de abrasão "Los Angeles", cuja dimensão dos fragmentos situa-se no intervalo de 64 a 38 mm, em quantidades suficientes para permitir tantas observações quanto necessárias ao longo do estudo;
- b) execução de ensaios de alteração através de ciclos de saturação/secagem, em todas as amostras, simultaneamente; a cada intervalo definido para as observações, uma amostra era tomada para execução de análise granulométrica após a ciclagem; as análises granulométricas visavam à obtenção das seguintes informações:
  - ba) percentual de perdas por desagregação através da quantidade de material passante nas malhas da graduação E do ensaio de abrasão "Los Angeles";
  - bb) distribuição granulométrica de toda a amostra através dos porcentuais retidos acumulados nas

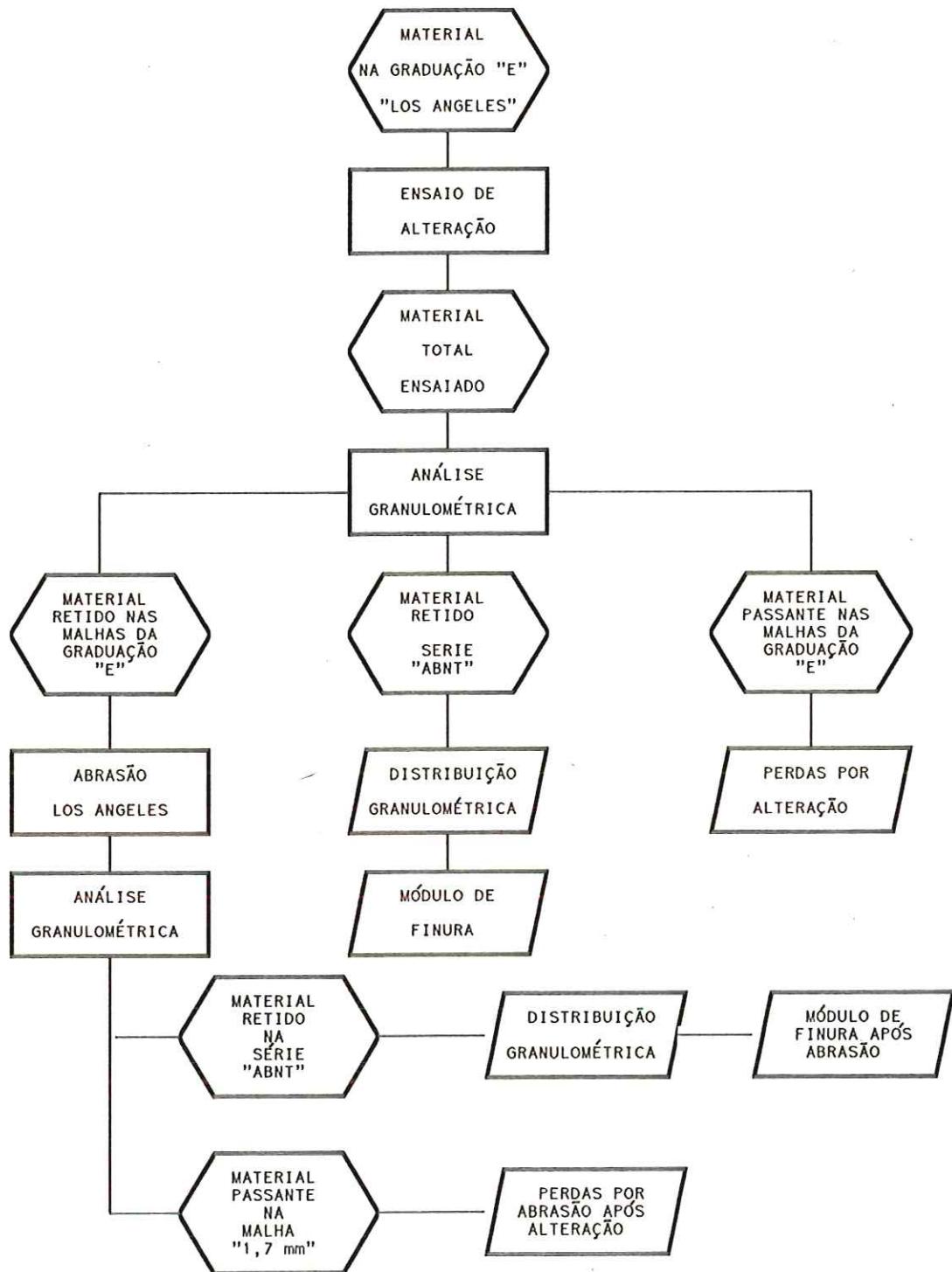


FIG. 4 Fluxograma dos ensaios e análises adotados no estudo da alterabilidade dos basaltos.

malhas da série de peneiras especificada pela ABNT (séries normal e auxiliar);

bc) cálculo do módulo de finura, a partir do somatório dos porcentuais retidos acumulados na série normal dividida por 100;

c) execução de ensaio de abrasão "Los Angeles" no material ciclado retido nas malhas da graduação E, desprezando para fins de ensaio, portanto, o material passante nessas malhas. Após o ensaio de abrasão "Los Angeles", foram executadas novamente análises granulométricas para obter:

ca) porcentual das perdas por abrasão através da quantidade de material passante na malha de abertura 1,7 mm (nº 12);

cb) distribuição granulométrica da amostra ensaiada, tal como mencionado em bb); e

cc) módulo de finura, tal como mencionado em bc).

A decisão de ensaiar somente o material retido nas malhas da graduação E foi adotada como meio de verificar a resistência dos fragmentos remanescentes nas malhas usadas para cálculo das perdas por ciclagem. Esse procedimento foi adotado por YOSHIDA (1972), para ensaios de impacto Treton após ciclagem. FARJALLAT (1971) adotou, contudo, ensaiar todo o material usado na ciclagem e notou resistências maiores (perdas menores) em algumas amostras no ensaio de abrasão "Los Angeles" após ciclagem. Creditou esse fato à maior resistência residual dos núcleos dos fragmentos ainda não atingidos totalmente, portanto, pelos efeitos da saturação e da secagem.

Com essa decisão procurou-se obter informações para efeito de comparações metodológicas.

Considerando a opção de submeter a ensaio de abrasão somente o material retido nas malhas da graduação E, haveria a possibilidade de que, com o prosseguimento da ciclagem, houvesse progressiva diminuição da massa retida nessas malhas e, assim, ocorrer eventualmente influência da redução da massa das amostras nos ensaios de abrasão "Los Angeles".

Para avaliar tal possibilidade, foram preparadas amostras com massas iguais àquelas retidas nas malhas da graduação "E", após ciclagem, as quais foram submetidas ao ensaio "Los Angeles" na condição "in natura". As perdas calculadas permitiriam a verificação desta hipótese.

## 9 DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS DE ENSAIOS

Os métodos de ensaios adotados no estudo de alterabilidade envolveram os de ensaio de alteração, propriamente ditos, e os de ensaios para mensuração de propriedade correlacionáveis à alteração, ou, ainda, para obtenção de informações complementares.

Estes métodos são descritos a seguir.

### 9.1 Ensaios de alteração por saturação e secagem

Este ensaio consiste em submeter a amostra à saturação em água, nas condições ambientais, durante o tempo suficiente para garantir a ocupação dos vazios acessíveis da rocha (poros e fissuras) pela água, seguida de secagem em estufa a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  pelo tempo suficiente para garantir a remoção da água absorvida.

A quantidade de materiais desagregáveis (perdas) no ensaio de alteração foi calculada com base na massa de material que passava pelas malhas das peneiras em que foram inicialmente retidas.

Considerando que a duração necessária para a saturação e a secagem é dependente da porosidade da rocha, a qual é variável de tipo para tipo petrográfico e dependente também do estado de alteração, foi necessário verificar previamente as durações efetivas desses eventos para os tipos de basaltos em estudo, de modo a se alcançar em economia de tempo e adequação das operações às condições rotineiras do laboratório.

As Figuras 5 e 6 apresentam a evolução da absorção d'água e da secagem em testes efetuados com cinco corpos-de-prova, dos

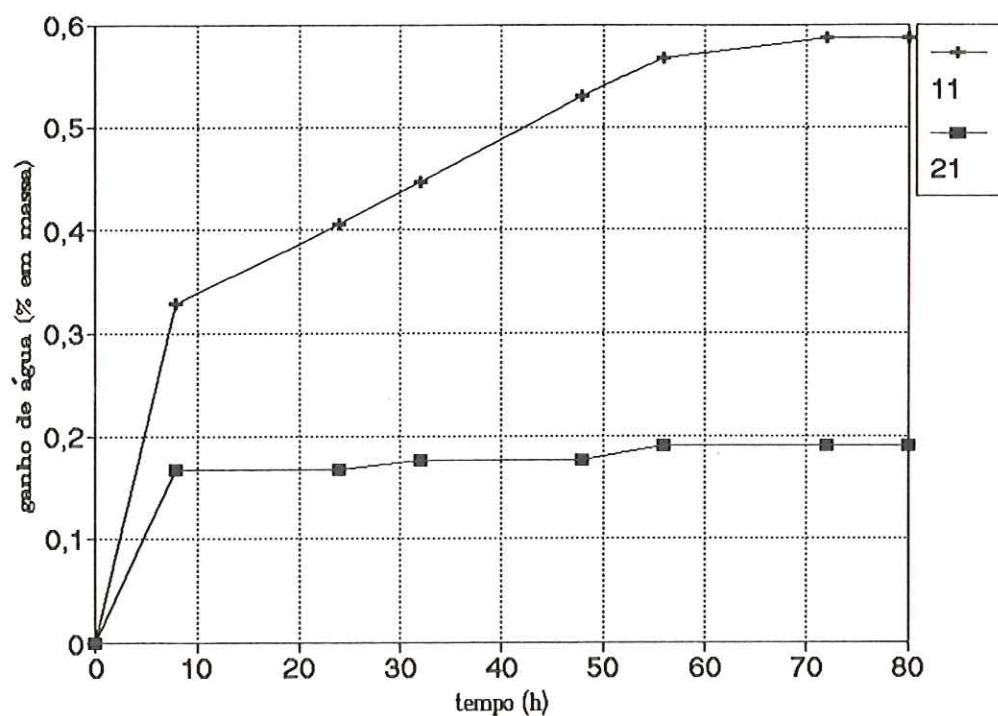


FIG. 5 Evolução do ganho de água, por imersão, com o tempo para amostras dos blocos 11 e 21.

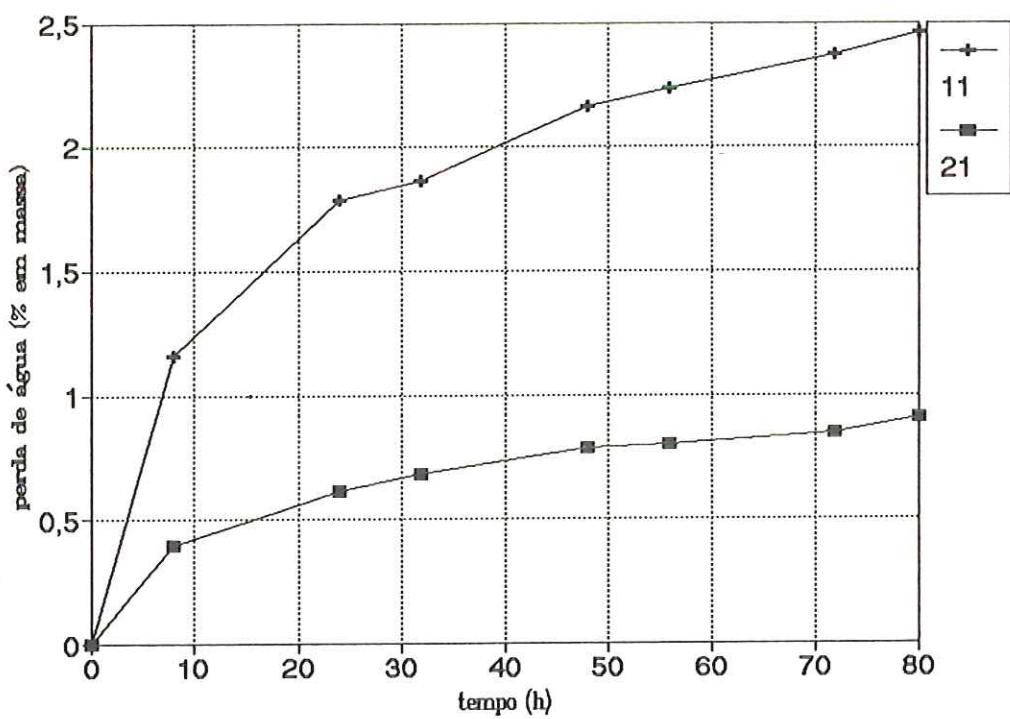


FIG. 6 Evolução da perda de água, por secagem em estufa, com o tempo para amostras dos blocos 11 e 21.

blocos 11 e 21, com massa variando de 100 a 300 g, examinados nas durações de 8, 24, 32, 48, 56, 72 e 80h.

Escolheram-se os blocos 11 e 21 por se apresentarem, respectivamente, como "alteráveis" e "não-alteráveis".

As durações escolhidas foram de 12h de saturação e 24h de secagem. Apesar de os ganhos e as perdas de água ainda prosseguirem além desses tempos, nota-se que esses eventos ocorrem com razoável desaceleração após tais tempos. Por outro lado, as durações escolhidas foram consideradas adequadas, e praticáveis, para condições de operação rotineira do laboratório.

Estes ensaios foram conduzidos com base em procedimentos normalizados internamente, no IPT, e, também, na Cesp.

#### **9.2 Ensaio de alteração por imersão em etileno-glicol**

Este ensaio consistiu em submeter 10 fragmentos, na dimensão 25/19 mm, à imersão em etileno-glicol durante 15 dias, após o que a eventual desagregação foi calculada, com base na quantidade (expressa em porcentagem em massa) de fragmentos menores que a malha de 19 mm.

Foram executados três ensaios para cada bloco.

Seguiu-se as diretrizes da norma CRD 148, do US Army Corps of Engineers.

#### **9.3 Ensaio de abrasão "Los Angeles"**

O ensaio de abrasão "Los Angeles" foi executado na graduação E, que consiste em 5.000 g de fragmentos de dimensão situada nos intervalos de 75 a 64 mm, 2.500 g de 64 a 50 mm e, 2.500 g de 50 a 38 mm, totalizando, portanto, 10.000 g.

A escolha da graduação "E" se deveu ao fato de esta ser composta de materiais situados na faixa mais graúda, dentre as das diversas graduações propostas para este ensaio, e, assim, melhor representar as características físicas e petrográficas das amostras. As dimensões dos fragmentos dessa graduação são também as que mais se aproximam das dimensões normais dos fragmentos utilizados num enrocamento, e se aproximam (razoavelmente) das dimensões usuais dos agregados usados em concreto-massa de grandes volumes, como é o caso de uma barragem de concreto.

Foram executados três ensaios para cada bloco.

O ensaio de abrasão "Los Angeles" foi executado de acordo com a norma NBR-6465 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

#### **9.4 Análises granulométricas.**

As análises granulométricas foram executadas por peneiramento, através da série (normal e auxiliar) de peneiras com aberturas especificadas pela norma ABNT NBR 5734. Foram executadas após o ensaio de ciclagem por saturação/secagem e após abrasão das amostras cicladas.

Foram calculadas as porcentagens retidas e acumuladas, além do módulo de finura.

Adotou-se calcular, também, as distribuições granulométricas médias e os módulos de finura médios a partir dos dados obtidos nas duas condições mencionadas anteriormente.

A análise granulométrica foi executada de acordo com a norma ABNT NBR 7217.

### **9.5 Determinação da velocidade de propagação de ondas**

A velocidade de propagação de ondas foi determinada através de emissão de ondas longitudinais com a utilização do aparelho PUNDIT (Ultrasonic Portable Non-Destructif Indicator Testing) na freqüência de 80 kHz (CNS, 1972).

A determinação foi executada nos corpos-de-prova cilíndricos, com relação base:altura de, aproximadamente, 1:2,5 (5,4 cm x 13,0 cm), destinados aos ensaios de compressão uniaxial. Foram obtidos a partir dos testemunhos de sondagem extraídos dos blocos de rocha, cortados com discos diamantados e retificados em torno mecânico.

As determinações foram executadas nos estados seco e saturado em 10 corpos-de-prova do Bloco 01, 30 do 05/10, 17 do 11 e sete do 21.

Os procedimentos adotados nessa determinação seguiram as sugestões de RUMMEL e VAN HEERDEN (1981).

### **9.6 Ensaios de compressão uniaxial**

Os ensaios de compressão uniaxial foram executados no estado seco, sobre os mesmos corpos-de-prova usados para determinação da velocidade de propagação.

Foram executados ensaios em 10 corpos-de-prova do bloco 01, 30 do 05/10, 17 do 11 e sete do 21.

Estes ensaios seguiram as sugestões de BIENIAWSKI (1981).

### **9.7 Determinação de índices físicos**

Os índices físicos (massa específica, porosidade e absorção d'água) foram executados nos corpos-de-prova destinados ao ensaio de compressão e à determinação de velocidade de propagação de ondas, antes da execução destes ensaios.

Foram executadas determinações em nove corpos-de-prova do bloco 01, 25 do 05/10, 14 do 11 e cinco do 21.

Os procedimentos seguiram as sugestões de FRANKLIN et al. (1981).

### **9.8 Ensaios de impacto Treton**

Os ensaios de impacto Treton foram executados em fragmentos afeiçoados manualmente e seguiram as recomendações da norma ABNT MB 964.

Foram executados nove ensaios para cada bloco.

### **9.9 Análises petrográficas e difratométricas**

As análises petrográficas foram executadas em seções delgadas ao microscópio óptico de luz transmitida.

Foram executadas 75 análises petrográficas a partir de materiais obtidos das extremidades dos corpos-de-prova destinados aos ensaios de compressão uniaxial.

Foi dada atenção especial à ocorrência de produtos secundários, tais como os argilominerais presentes, os quais foram identificados por difratometria de raios X.

A difratometria foi executada com material na dimensão da fração argila ( $<2 \mu\text{m}$ ) obtido por pipetagem após moagem dos materiais remanescentes da preparação das lâminas petrográficas.

As análises foram executadas com os materiais na condição natural, após saturação com etileno-glicol e após aquecimento a 350°C, durante 3h.

As análises petrográficas seguiram as recomendações da norma ABNT NBR 12 768. As análises difratométricas seguiram procedimentos internos do IPT.

## 10 PROGRAMAÇÃO DOS ENSAIOS DE ALTERAÇÃO

Os ensaios de alteração foram executados nas amostras dos quatro blocos, simultaneamente, conforme já mencionado. A evolução da alteração provocada pelo processo de saturação/secagem foi avaliada, porém, a intervalos de tempo (ciclos) diferentes e sobre quantidades também diferentes de amostras para cada bloco.

O critério adotado para a definição do número de ciclos e do intervalo das observações baseou-se em ensaios de alteração experimentais efetuadas no início dos estudos.

As amostras usadas nos ensaios experimentais foram as do bloco 11, o qual foi escolhido por apresentar-se, a partir das observações de campo e ensaios com etileno-glicol, como de alterabilidade intermediária em relação a dos outros blocos.

Foram preparadas amostras nas graduações A e E do ensaio de abrasão "Los Angeles". Os ensaios foram executados em 12 amostras, com observações efetuadas a cada ciclo. A inclusão da graduação A se deve ao fato de que, nessa fase, ainda não se havia decidido pela escolha da graduação E para representar amostras a serem estudadas.

As Figuras 7 e 8 ilustram a evolução das perdas por ciclagem e por abrasão, após ciclagem, das amostras do bloco 11 preparadas nas graduações A e E do ensaio de abrasão "Los Angeles".

Completado o 12º ciclo, a perda por abrasão atingiu 96% para a amostra na graduação A e 60% para a graduação E, enquanto as perdas por alteração (ciclagem) foram de 9% para a A e 2% para a E. As perdas maiores verificadas para a graduação A podem ser

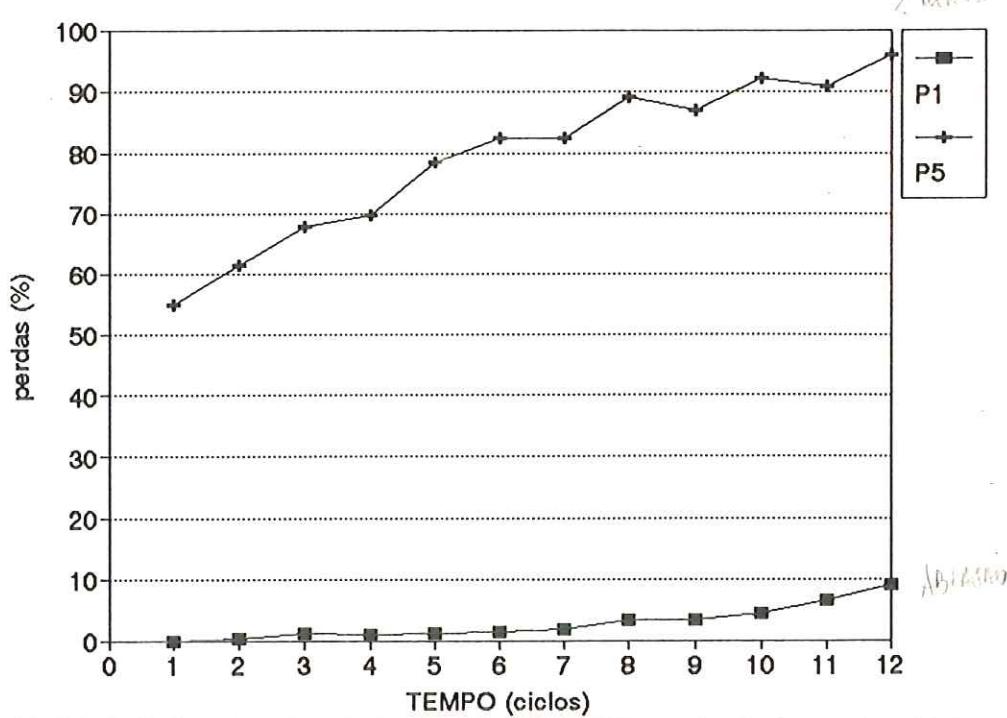


FIG. 7 Evolução dos valores de perda de massa por ciclagem (P1) e por abrasão das amostras cicladas (P5) referentes aos ensaios de alteração experimental com amostras do bloco 11/graduação 'A'.

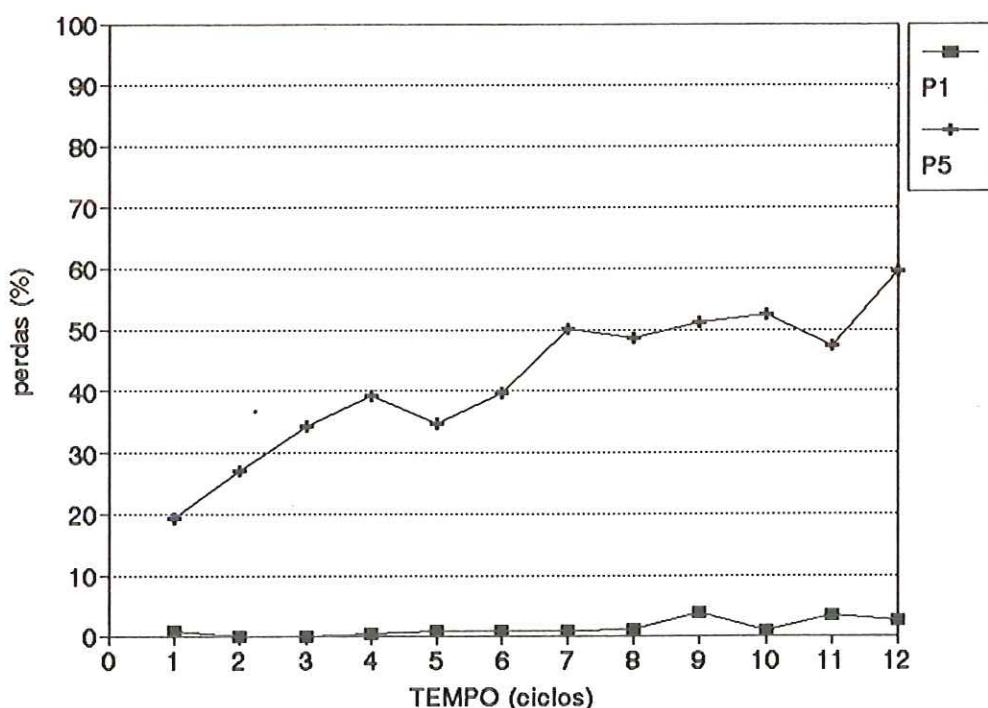


FIG. 8 Evolução dos valores de perdas de massa por ciclagem (P1) e por abrasão das amostras cicladas (P5) referentes aos ensaios de alteração experimental com amostras do bloco 11/graduação 'E'.

devido a maior superfície específica das suas partículas constituintes, e também devido à provável maior microfissuração causada pelo afeiçoamento mecânico e manual, que teria propiciado maior absorção d'água e, também, menor resistência aos ciclos térmicos.

O comportamento das perdas foi útil para previsão da duração dos ensaios, para definição do número máximo de amostras a serem utilizadas, bem como para a definição do intervalo das observações.

Considerando que a evolução das perdas foi de modo razoavelmente contínua nos ensaios experimentais, adotaram-se, inicialmente, intervalos de dois e de três ciclos, de modo a não se executar em ensaios em demasia e não acarretar a utilização de grande número de amostras.

A Figura 8 ilustra a distribuição dos ciclos adotada. O extremo das linhas significa o número do ciclo em que as amostras foram tomadas para quantificação das perdas por ciclagem e para execução dos ensaios de abrasão "Los Angeles". Nota-se ali que:

- a) para o bloco 01 foram utilizadas 12 amostras, e as observações foram efetuadas de três em três ciclos até o 18º e passando depois para 6/6 ciclos até o 54º;
- b) para o bloco 05/10 foram utilizadas 10 amostras, e as observações foram efetuadas a cada dois ciclos até o 20º;
- c) para o bloco 11 foram utilizadas 12 amostras, e as observações foram efetuadas a cada três ciclos até o 36º;

d) para o bloco 21 foram utilizados 12 amostras, e as observações foram efetuadas a cada três ciclos até o 12º e a cada seis ciclos até o 60º.

As modificações do intervalo inicialmente adotadas, ocorriam quando se notava que as desagregações se mostravam constantes e, por isso, podia-se reduzir a execução de ensaios de abrasão e de análise granulométrica, sem comprometer a visualização da evolução do comportamento global das amostras.

Percebe-se, portanto, que o intervalo das observações foi definido de modo empírico, estabelecendo-se intervalos menores para as amostras presumivelmente mais desagregáveis e intervalos maiores para as aparentemente menos desagregáveis. A opção de modificar os intervalos durante as ciclagens foi tomada também segundo este mesmo princípio.

## DURAÇÃO (ciclos = dias)

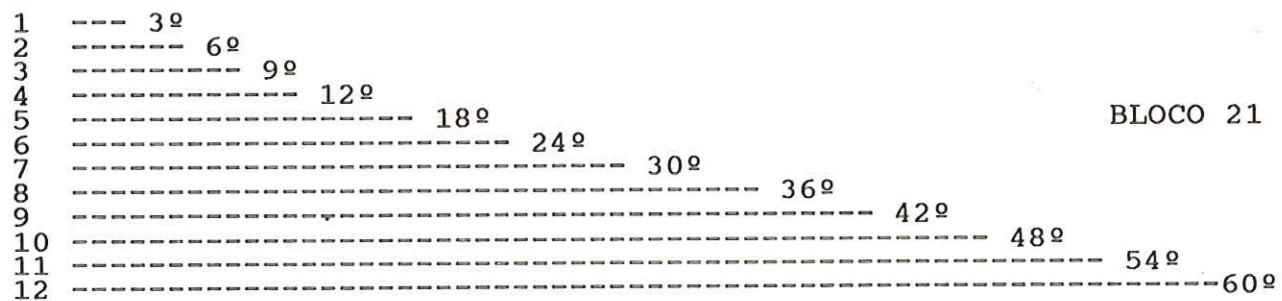
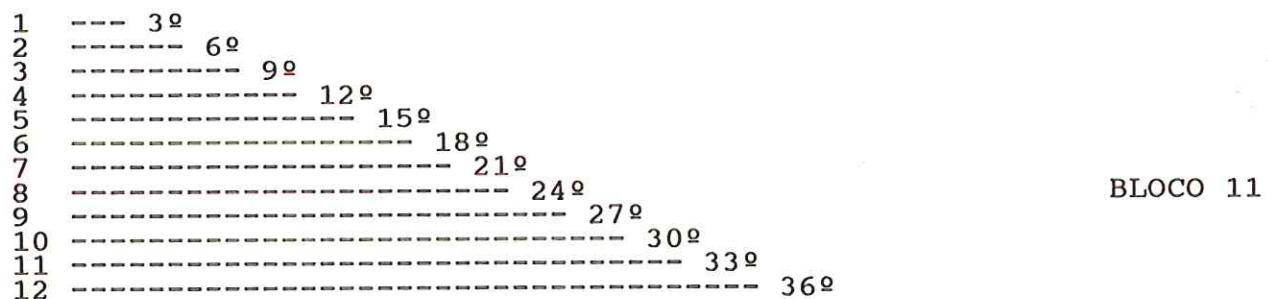
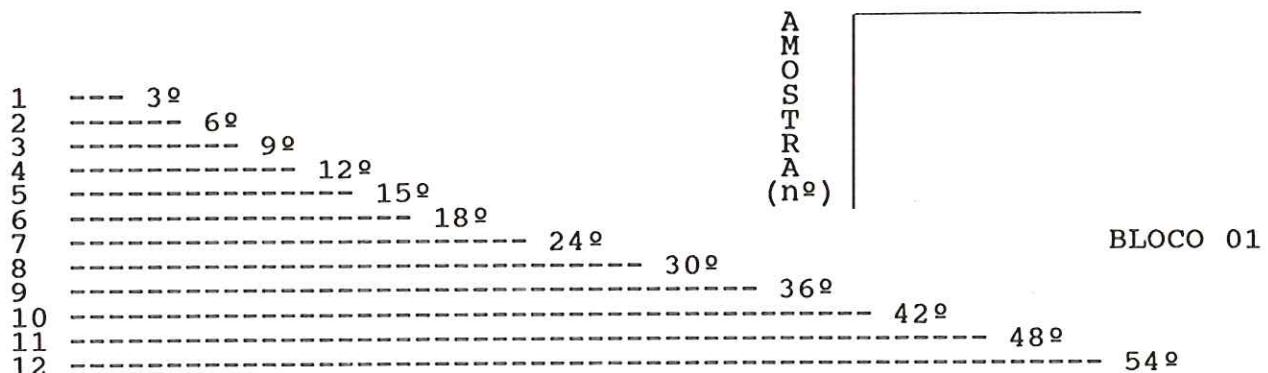


FIGURA 9 - Distribuição dos ciclos adotada para as amostras dos quatro blocos de basalto.

## 11 ACOMPANHAMENTO DOS ENSAIOS DE ALTERAÇÃO

As Tabelas 1 a 4 apresentam os resultados dos ensaios de alteração com base nas perdas por ciclagem (desagregação durante o ensaio de alteração) e por abrasão "Los Angeles" executados nas amostras cicladas.

Os parâmetros ali contidos referem-se à massa inicial da graduação E ( $M_1$ ), massa retida nas malhas desta graduação, após o número de ciclos correspondentes ( $M_2$ ), massa de material não-ciclado equivalente àquela retida na malha da graduação E, no ciclo correspondente ( $M_3$ ), massa após abrasão da amostra ciclada, (retida na malha 1,7 mm), no ciclo correspondente ( $M_4$ ), e massa após abrasão da amostra não-ciclada, retida na malha 1,7 mm ( $M_5$ ).

O valor  $P_0$  refere-se às perdas por abrasão "Los Angeles" inicial das amostras ("in natura") de cada bloco, calculado pela seguinte expressão:

$$P_0 = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100 \quad (20)$$

onde:

$M_i$  = massa inicial de ensaio (g);

$M_f$  = massa final, retida na malha 1,7 mm (g).

O valor  $P_1$  refere-se às perdas por desagregação no ensaio de ciclagem, calculado pela seguinte expressão:

$$P_1 = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100 \quad (21)$$

TABELA 1 - Resultados dos ensaios de alteração efetuados em amostras do bloco 01.

CICLO	M1 (g)	M2 (g)	M3 (g)	M4 (g)	M5 (g)	P0 (%)	P1 (%)	P2 (%)	P3 (%)	P4 (%)	DP (%)	P5 (%)
0	9933,8				8900,9	10,0				10		
3	10018,9	9948,4	9950,3	8931,8	8984,4		0,7	10	11	10	0	11
6	10045,2	9963,1	9953,3	8820,3	8975,3		0,8	12	12	10	0	12
9	10077,1	10020,1	10028,8	8944,9	9033,3		0,6	11	11	10	0	11
12	10033,3	9952,6	9953,5	8922,0	8984,4		0,8	10	11	10	0	11
15	10033,3	9952,6	9953,5	8922,0	8984,4		0,8	10	11	10	0	11
18	10086,1	9980,5	9982,0	8856,4	8966,8		1,0	11	12	10	0	12
24	10065,6	9984,9	9985,8	8834,2	9021,9		0,8	12	12	10	0	12
30	10031,1	9935,1	9932,5	8831,9	8950,7		1,0	11	12	10	0	12
36	10061,8	9961,3	9957,7	8895,3	8906,8		1,0	11	12	11	1	11
42	10069,1	9930,4	9915,6	8772,2	8823,1		1,4	12	13	11	1	12
48	9992,0	9870,6	9875,4	8814,8	8912,6		1,2	11	12	10	0	12
54	10071,4	9941,0	9939,8	8863,3	9004,5		1,3	11	12	10	0	12

## LEGENDA

## FÓRMULAS

- |    |   |                        |
|----|---|------------------------|
| M1 | Massa Inicial   | $P1 = (M1 - M2/M1)100$ |
| M2 | Massa após ciclagem (massa retida nas malhas originais)       |                        |
| M3 | Massa equivalente a M2 para abrasão "in natura"               | $P2 = (M2 - M4/M2)100$ |
| M4 | Massa após abrasão e após ciclagem (massa retida na malha 12) |                        |
| M5 | Massa após abrasão equivalente "in natura"                    | $P3 = (M1 - M4/M1)100$ |
| P0 | Perda por abrasão na condição "in natura"                     |                        |
| P1 | Perdas na ciclagem  | $P3 = (M1 - M4/M1)100$ |
| P2 | Perdas por abrasão em relação a massa após ciclagem           |                        |
| P3 | Perda por abrasão em relação a massa Inicial                  | $P4 = (M3 - M5/M3)100$ |
| P4 | Perda por abrasão equivalente                                 |                        |
| DP | Diferencial de perdas (P4-P0)                                 | $DP = P4 - P0$         |
| P5 | Perdas por abrasão, após ciclagem, corrigida (P3- DP)         | $P5 = P3 - DP$         |

TABELA 2 - Resultados dos ensaios de alteração efetuados em amostras do bloco 5/10.

CICLO	M1 (g)	M2 (g)	M3 (g)	M4 (g)	M5 (g)	P0 (%)	P1 (%)	P2 (%)	P3 (%)	P4 (%)	DP (%)	P5 (%)
0	10004,0				8485,0	15,0				15		
2	10103,5	9798,5	10103,5	6925,0	8588,0		3,0	29	32	15	0	32
4	10084,5	5324,0	5511,5	2752,0	4542,0		47,2	48	73	18	3	70
6	10012,0	5090,0	5033,0	3025,0	4077,0		49,2	41	70	19	4	66
8	10050,0	2661,0	2667,0	1617,0	2078,5		73,5	39	84	22	7	77
10	9998,5	2844,0	3000,0	1373,0	2417,0		71,6	52	86	19	4	82
12	10048,0	1770,0	1819,5	1217,0	1417,5		82,4	31	88	22	7	81
14	10087,5	2812,0	2845,0	1878,0	2282,0		72,1	33	81	20	5	76
16	10013,5	2237,0	2213,5	1290,0	1669,0		77,7	42	87	25	10	77
18	10002,5	1126,0	1257,0	421,0	966,0		88,7	63	96	23	8	88
20	10017,0	2070,0	2030,0	1048,0	1581,0		79,3	49	90	22	7	83

## LEGENDA

## FÓRMULAS

- |    |   |                        |
|----|---|------------------------|
| M1 | Massa Inicial   | $P1 = (M1 - M2/M1)100$ |
| M2 | Massa após ciclagem (massa retida nas malhas originais)       | $P2 = (M2 - M4/M2)100$ |
| M3 | Massa equivalente a M2 para abrasão "in natura"               | $P3 = (M1 - M4/M1)100$ |
| M4 | Massa após abrasão e apos ciclagem (massa retida na malha 12) | $P4 = (M3 - M5/M3)100$ |
| M5 | Massa após abrasão equivalente "in natura"                    | $P5 = P3 - DP$         |
| P0 | Perda por abrasão na condição "in natura"                     |                        |
| P1 | Perdas na ciclagem  |                        |
| P2 | Perdas por abrasão em relação a massa após ciclagem           |                        |
| P3 | Perda por abrasão em relação a massa Inicial                  |                        |
| P4 | Perda por abrasão equivalente                                 |                        |
| DP | Diferencial de perdas (P4-P0)                                 |                        |
| P5 | Perdas por abrasão, após ciclagem, corrigida (P3-DP)          |                        |

TABELA 3 - Resultados dos ensaios de alteração efetuados em amostras do bloco 11.

CICLO	M1 (g)	M2 (g)	M3 (g)	M4 (g)	M5 (g)	P0 (%)	P1 (%)	P2 (%)	P3 (%)	P4 (%)	DP (%)	P5 (%)
0	10054,8				8652,7	14,0				14		
3	10038,7	9899,5	9906,1	7237,5	8083,0		1,4	27	28	18	4	24
6	10069,8	9911,9	10178,3	6111,9	8753,3		1,6	38	39	14	0	39
9	10085,8	9146,1	9161,9	5153,9	7908,4		9,3	44	49	14	0	49
12	10048,4	8526,6	8522,0	4761,3	7365,3		15,1	44	53	14	0	53
15	10041,6	8307,8	8389,4	5064,3	7214,9		17,3	39	50	14	0	50
18	10098,8	7762,4	7772,9	2981,2	6686,4		23,1	62	71	14	0	71
21	10058,0	7394,9	7385,4	4074,4	6240,4		26,5	45	60	16	2	58
24	10050,4	7273,2	7280,3	3563,5	6072,6		27,6	51	65	17	3	62
27	10052,1	5105,3	5110,1	3257,6	4148,0		49,2	36	68	19	5	63
30	10012,6	4870,0	4870,3	2524,1	3978,6		51,4	48	75	18	4	71
33	10043,8	5053,8	5048,9	2237,6	3936,8		49,7	56	78	22	8	70
36	10018,2	4511,6	4514,5	2555,4	3688,4		55,0	43	75	18	4	71

## LEGENDA

## FÓRMULAS

- |    |   |                        |
|----|---|------------------------|
| M1 | Massa Inicial   | $P1 = (M1 - M2/M1)100$ |
| M2 | Massa após ciclagem (massa retida nas malhas originais)       | $P2 = (M2 - M4/M2)100$ |
| M3 | Massa equivalente a M2 para abrasão "in natura"               | $P3 = (M1 - M4/M1)100$ |
| M4 | Massa após abrasão e após ciclagem (massa retida na malha 12) | $P4 = (M3 - M5/M3)100$ |
| M5 | Massa após abrasão equivalente "in natura"                    | $DP = P4 - P0$         |
| P0 | Perda por abrasão na condição "in natura"                     | $P5 = P3 - DP$         |
| P1 | Perdas na ciclagem  |                        |
| P2 | Perdas por abrasão em relação a massa após ciclagem           |                        |
| P3 | Perda por abrasão em relação a massa Inicial                  |                        |
| P4 | Perda por abrasão equivalente                                 |                        |
| DP | Diferencial de perdas (P4-P0)                                 |                        |
| P5 | Perdas por abrasão, após ciclagem, corrigida (P3-DP)          |                        |

TABELA 4 - Resultados dos ensaios de alteração efetuados em amostras do bloco 21.

CICLO	M1 (g)	M2 (g)	M3 (g)	M4 (g)	M5 (g)	P0 (%)	P1 (%)	P2 (%)	P3 (%)	P4 (%)	DP (%)	P5 (%)
0	9998,7				9209,6	8,0				8		
3	10006,7	9993,3	10001,4	9202,8	9167,4		0,1	8	8	8	0	8
6	10034,0	10028,3	10027,6	9122,5	9191,2		0,1	9	9	8	0	9
9	10041,6	10030,9	10019,7	9201,0	9206,9		0,1	8	8	8	0	8
12	10016,7	10002,0	9981,7	9115,2	9199,9		0,1	9	9	8	0	9
18	9983,7	9971,5	9970,3	9137,8	9225,8		0,1	8	8	7	0	9
24	10030,1	10016,7	10015,8	9209,2	9237,4		0,1	8	8	8	0	8
30	10012,1	9995,8	10007,2	9167,4	9218,5		0,2	8	8	8	0	8
36	10028,0	9979,9	9977,8	9138,5	9270,1		0,5	8	9	7	1	8
42	9992,8	9959,4	9976,9	9095,3	9268,4		0,3	9	9	7	1	8
48	10039,0	10012,0	10017,1	9106,9	9213,5		0,3	9	9	8	0	9
54	9990,2	9924,1	9935,4	9167,2	9201,0		0,7	8	8	7	1	7
60	10007,9	9971,0	9974,3	9236,6	9271,8		0,4	7	8	7	1	7

## LEGENDA

## FÓRMULAS

- |  |                        |
|--|------------------------|
| M1 Massa Inicial   | $P1 = (M1 - M2/M1)100$ |
| M2 Massa após ciclagem (massa retida nas malhas originais)       |                        |
| M3 Massa equivalente a M2 para abrasão "in natura"               | $P2 = (M2 - M4/M2)100$ |
| M4 Massa após abrasão e após ciclagem (massa retida na malha 12) |                        |
| M5 Massa após abrasão equivalente "in natura"                    | $P3 = (M1 - M4/M1)100$ |
| P0 Perda por abrasão na condição "in natura"                     |                        |
| P1 Perdas na ciclagem  | $P3 = (M1 - M4/M1)100$ |
| P2 Perdas por abrasão em relação a massa após ciclagem           |                        |
| P3 Perda por abrasão em relação a massa Inicial                  | $P4 = (M3 - M5/M3)100$ |
| P4 Perda por abrasão equivalente                                 |                        |
| DP Diferencial de perdas (P4-P0)                                 | $DP = P4 - P0$         |
| P5 Perdas por abrasão, após ciclagem, corrigida (P3- DP)         | $P5 = P3 - DP$         |

onde:

M<sub>1</sub> = massa inicial da graduação E (g);

M<sub>2</sub> = massa após ciclagem retida nas malhas da graduação E.

O valor P<sub>2</sub> refere-se às perdas por abrasão em relação à massa após ciclagem, retida nas malhas da graduação E, calculado pela seguinte expressão:

$$P_2 = \frac{M_2 - M_4}{M_2} \times 100 \quad (22)$$

onde:

M<sub>2</sub> = massa após ciclagem (g);

M<sub>4</sub> = massa após abrasão da amostra ciclada, retida na malha 1,7 mm (g).

O valor P<sub>3</sub> refere-se às perdas por abrasão em relação à massa inicial (da graduação E), calculado pela expressão:

$$P_3 = \frac{M_1 - M_4}{M_1} \times 100 \quad (23)$$

O valor P<sub>4</sub> refere-se às perdas por abrasão da amostra "in natura", cuja massa é equivalente à retida nas malhas de graduação E, usada no cálculo de P<sub>1</sub>, que é calculado pela seguinte expressão:

$$P_4 = \frac{M_3 - M_5}{M_3} \times 100 \quad (24)$$

onde:

M<sub>3</sub> = massa equivalente inicial (g);

M<sub>5</sub> = massa final (g).

O valor DP é o diferencial de perdas entre P<sub>4</sub> e P<sub>0</sub>, e P<sub>5</sub> é o valor corrigido de perdas por abrasão da amostra ciclada subtraindo DP de P<sub>3</sub>.

Essa correção foi adotada pelo fato de que, à medida que a ciclagem progredia, os valores de massa utilizada no ensaio de abrasão reduziam-se progressivamente. Esta redução de massa poderia estar influindo no valor de abrasão "Los Angeles", e, assim, falseando os resultados destes ensaios, principalmente para as amostras dos blocos considerados mais desagregáveis.

### 11.1 Análise com base nas perdas de massa

As Figuras 10 e 13 apresentam a evolução desses parâmetros ao longo da ciclagem.

Nota-se na Tabela 1 e Figura 10 que o bloco 01 apresentou perdas por ciclagem baixas, não ultrapassando a 1,3%, e que os valores de perdas por abrasão, para quaisquer das condições, não se diferenciaram sensivelmente do valor de abrasão inicial ("in natura").

A Tabela 2 e Figura 11 representam a evolução destes parâmetros para as amostras do bloco 05/10, onde se notam perdas por ciclagem (P<sub>1</sub>) com tendência à evolução crescente com o tempo (ciclos), alcançando um máximo de 88,7% (18º ciclo). As perdas por abrasão, em relação à massa após ciclagem (P<sub>2</sub>), foram menores que P<sub>1</sub> e tiveram evolução irregular. Tais valores revelam, ainda, que as amostras apresentam resistência residual do material

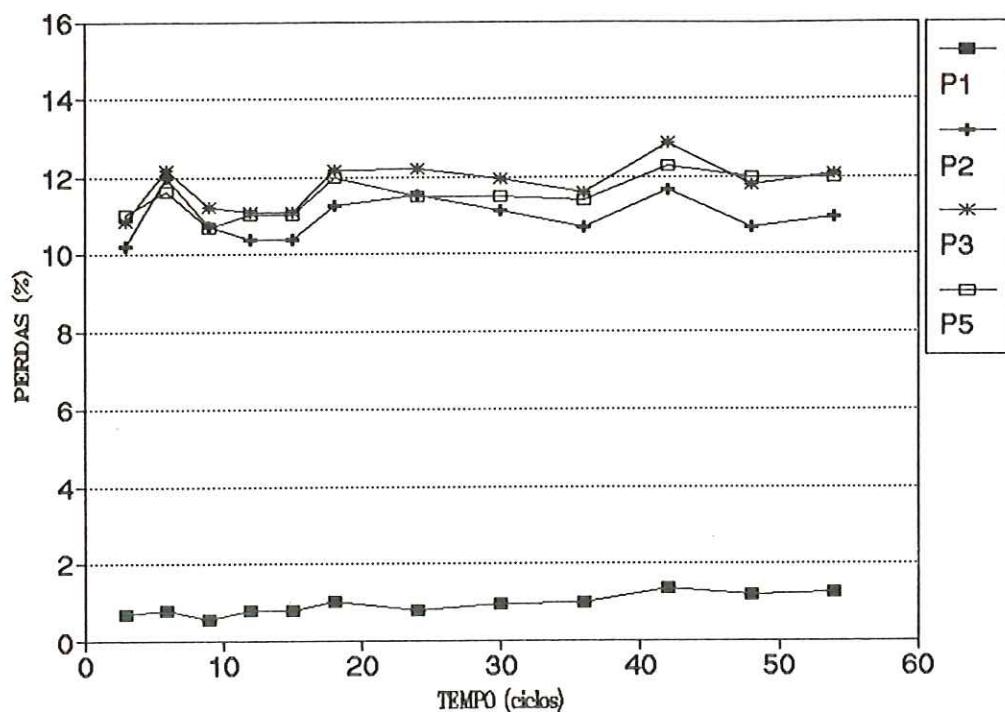


FIG. 10 Evolução dos parâmetros P1, P2, P3 e P5 referentes ao bloco 01.

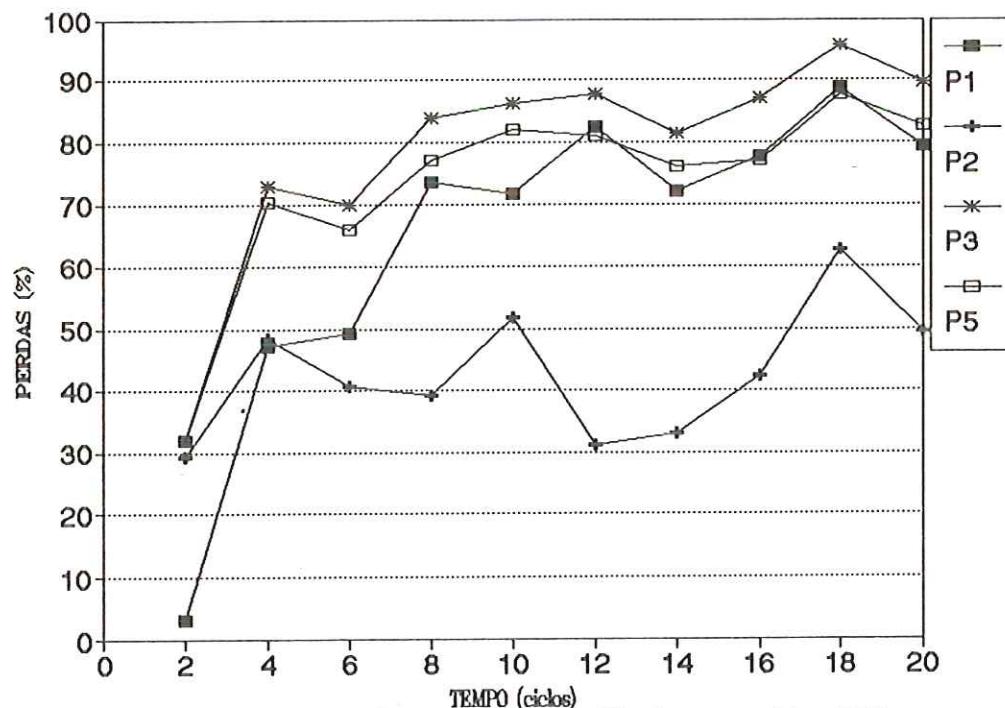


FIG. 11 Evolução dos parâmetros P1, P2, P3 e P5 referentes ao bloco 5/10.

remanescente, relativamente elevada. A curva de perdas por abrasão em relação à massa inicial (P3) mostrou, por sua vez, evolução mais uniforme, bem como a evolução das perdas corrigidas (P5).

Nota-se, contudo, que todas curvas revelam a alta desagregabilidade das amostras do bloco 05/10.

A Tabela 3 e a Figura 12 apresentam o comportamento das amostras do bloco 11, onde se nota tendência a evolução crescente de perdas por ciclagem (P1) atingindo um máximo de 55% (36º ciclo). As perdas por abrasão, em relação à massa após ciclagem (P2), tiveram evolução irregular (tal como as do bloco 05/10), refletindo resistência residual também relativamente elevada.

Notar que as amostras do bloco 11 desagregaram menos que as do bloco 05/10 na ciclagem, e que seu enfraquecimento é melhor revelado pelos valores de abrasão em relação à massa após ciclagem (P2) até 24º ciclo. A partir deste tempo, as curvas se intersectam e o enfraquecimento é revelado tanto pela ciclagem como pela abrasão.

As curvas de perdas por abrasão em relação à massa original (P3) e a corrigida (P5) apresentam tendência a evolução crescente, coerentes e comportamento semelhante ao das amostras do bloco 05/10.

A evolução das diversas curvas do bloco 05/10 e do bloco 11 revelam que a desagregabilidade do bloco 05/10 parece ser maior que a do 11, e a destes maior que a do bloco 01.

A Tabela 4 e a Figura 13 apresentam os resultados para as amostras do bloco 21, onde se nota um comportamento semelhante ao do bloco 01, para os diversos parâmetros. Revela, porém, que

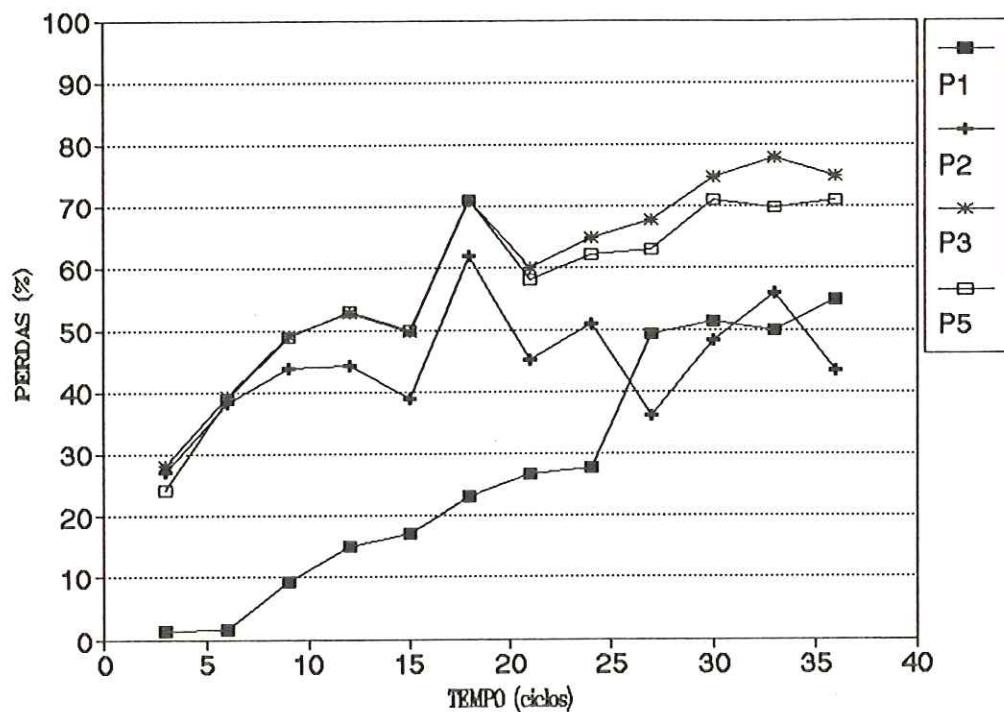


FIG. 12 Evolução dos parâmetros P1, P2, P3 e P5 referentes ao bloco 11.

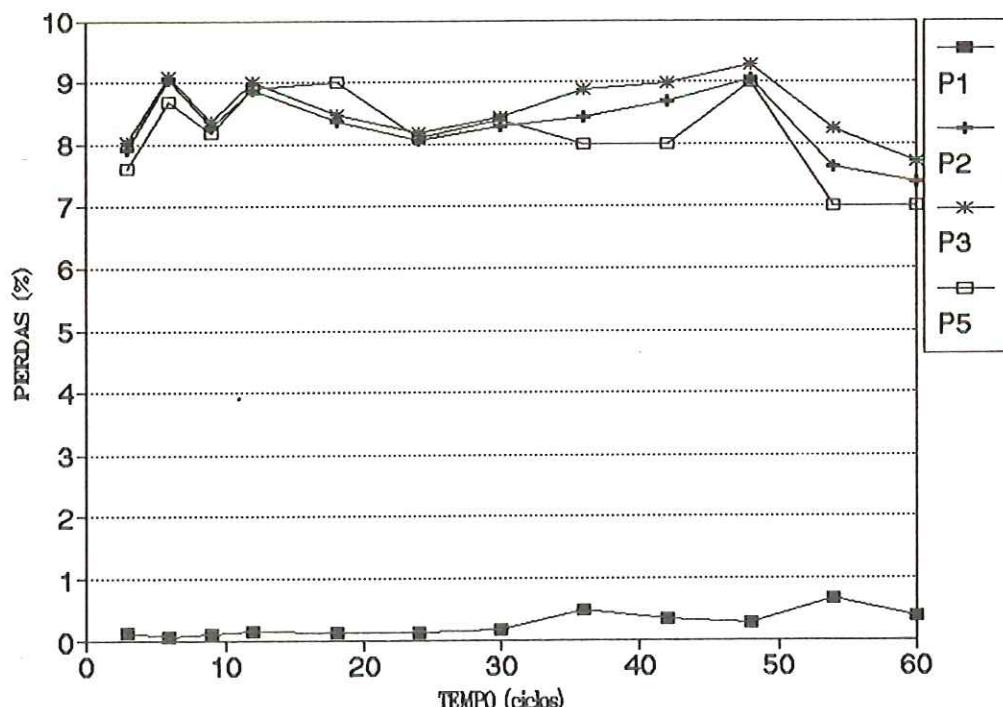


FIG. 13 Evolução dos parâmetros P1, P2, P3 e P5 referentes ao bloco 21.

aquele parece ser ligeiramente menos desagregável que o bloco 01. Este fato é notado tanto pelas baixas perdas por ciclagem, que não ultrapassaram 0,7% (54º ciclo), como pela pequena variação de valores de perdas por abrasão em relação à massa inicial (3º ciclo), ao longo de toda a ciclagem.

A partir destes resultados, constata-se que, a julgar pelas perdas por ciclagem, as amostras dos blocos 01 e 21 são menos desagregáveis que as dos blocos 05/10 e 11, e que as do bloco 05/10 foram mais sensíveis à ciclagem por saturação/secagem que as do bloco 11. As do bloco 11, por sua vez, foram mais afetadas pelas ações mecânicas do ensaio de abrasão que as do 05/10. Isto parece significar uma limitação parcial do ensaio de ciclagem, para indicar eventual queda de resistência mecânica de basaltos do tipo representado pelo bloco 11, pois somente ações mecânicas de abrasão agiram mais eficazmente sobre as porções alteradas do material.

Quanto aos resultados da abrasão com base na massa remanescente da ciclagem (P2), estes revelam que, tal como constatado por FARJALLAT (1971) e YOSHIDA (1972), os basaltos podem apresentar resistência algo elevada nos núcleos dos fragmentos alterados. A dispersão dos resultados constatada deve-se, provavelmente, à heterogeneidade nas características físicas e petrográficas dos fragmentos, apesar dos cuidados tomados em preparar amostras homogêneas. Os valores de P2 revelam também que, do ponto de vista prático, esse parâmetro tem pouca validade para avaliar a desagregabilidade. A evolução do parâmetro P3 (perdas por abrasão com base na massa inicial) revela-se mais adequada que a do P2, por manifestar distribuição mais homogênea

e progressiva, tal como é esperado num processo natural de alteração de rocha até se transformar em solo.

Notar que, para os blocos pouco desagregáveis (01 e 21), o parâmetro P2 não se destaca de P3 e P5.

A evolução das perdas corrigidas (P5) acompanha a tendência de P3 e, além de não comprometer a visualização do processo, ajusta melhor os dados, por tornar mínima a influência de redução de massa nos resultados do ensaio de abrasão.

### **11.2 Análise com base na granulometria**

As Figuras 14 a 25 apresentam as distribuições granulométricas das amostras dos quatro blocos após ciclagem por saturação/secagem, após abrasão das amostras cicladas e distribuições médias destas. As distribuições referem-se a cada ciclo de saturação/secagem.

Os dados utilizados para cálculo das distribuições granulométricas encontram-se em tabelas no Anexo.

Optou-se por representar as desagregações havidas na ciclagem e após abrasão "Los Angeles" por uma só distribuição granulométrica para cada ciclo. Para tanto, calculou-se uma nova distribuição a partir da média aritmética das porções retidas acumuladas em cada peneira a partir das distribuições após ciclagem e após abrasão das amostras cicladas. Este artifício teve por objetivo melhorar a visualização da desagregação.

As distribuições granulométricas após ciclagem das amostras do bloco 01 encontram-se na Figura 14, onde se nota a quase ausência de desagregação, evidenciada pela superposição das curvas e pelo seu discreto afastamento em relação à da graduação

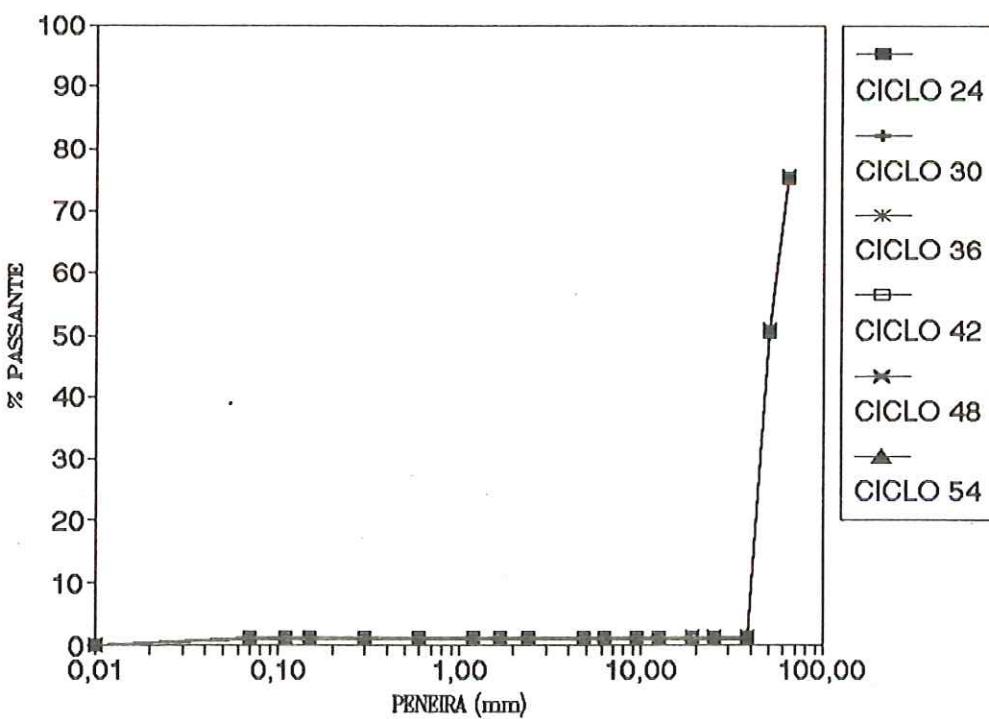
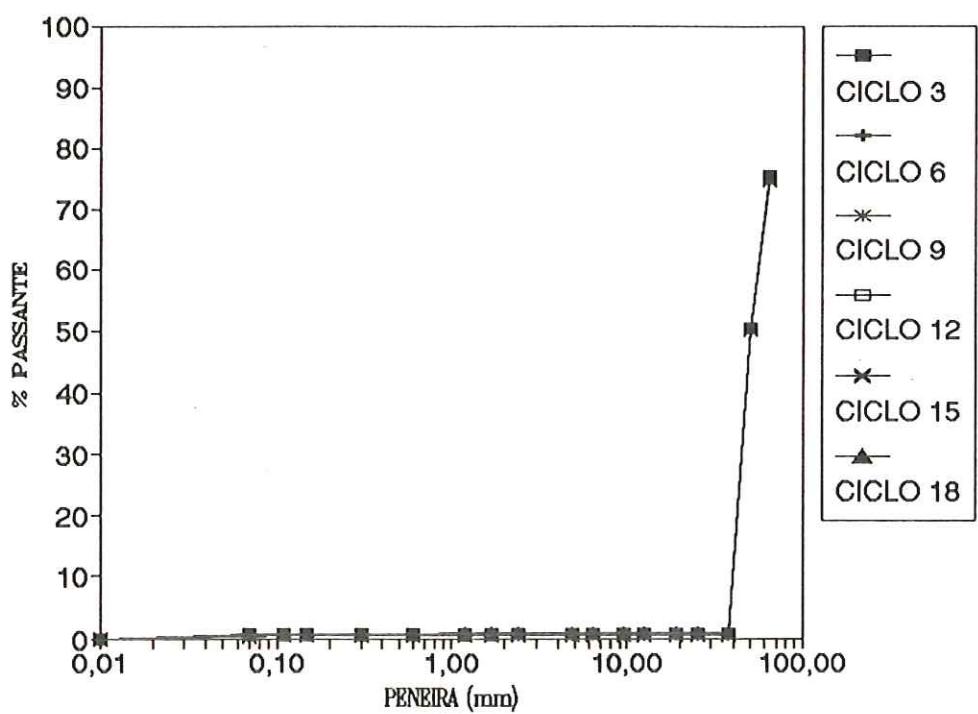


FIG. 14 Distribuições granulométricas, após ciclagem, das amostras do bloco 01.

E, que pode ser assumida como parcela da linha subvertical à direita do gráfico.

A Figura 15 apresenta a distribuição granulométrica após abrasão das amostras cicladas, do bloco 01, onde se nota discreto aumento da desagregação devido às ações mecânicas impostas por esse ensaio.

As distribuições granulométricas médias observadas na Figura 16 revelam, obviamente, o mesmo comportamento para as amostras do bloco 01.

A Figura 17 apresenta as distribuições granulométricas das amostras do bloco 05/10 após ciclagem, onde se nota grande desagregação, a julgar pelo afastamento das curvas em relação à da graduação E. Notar que o maior afastamento se deu no 12º ciclo e não no 20º, como seria esperado. Tal fato pode ser devido a eventual presença de fragmentos mais desgregáveis na amostra correspondente ao 12º ciclo.

O mesmo comportamento geral é notado na Figura 18, que ilustra as distribuições após abrasão das amostras cicladas do bloco 05/10. Nota-se, também, uma relativamente menor amplitude de afastamento entre as curvas, revelando que a abrasão provocou menores desagregações que a ciclagem, e que os fragmentos remanescentes ainda se apresentaram relativamente resistentes.

As distribuições granulométricas médias, ilustradas na Figura 19, confirmam o comportamento revelado nas condições após ciclagem e após abrasão. Revelam também (tal como as distribuições nessas duas condições) que o bloco 05/10 é mais desgregável que o bloco 01.

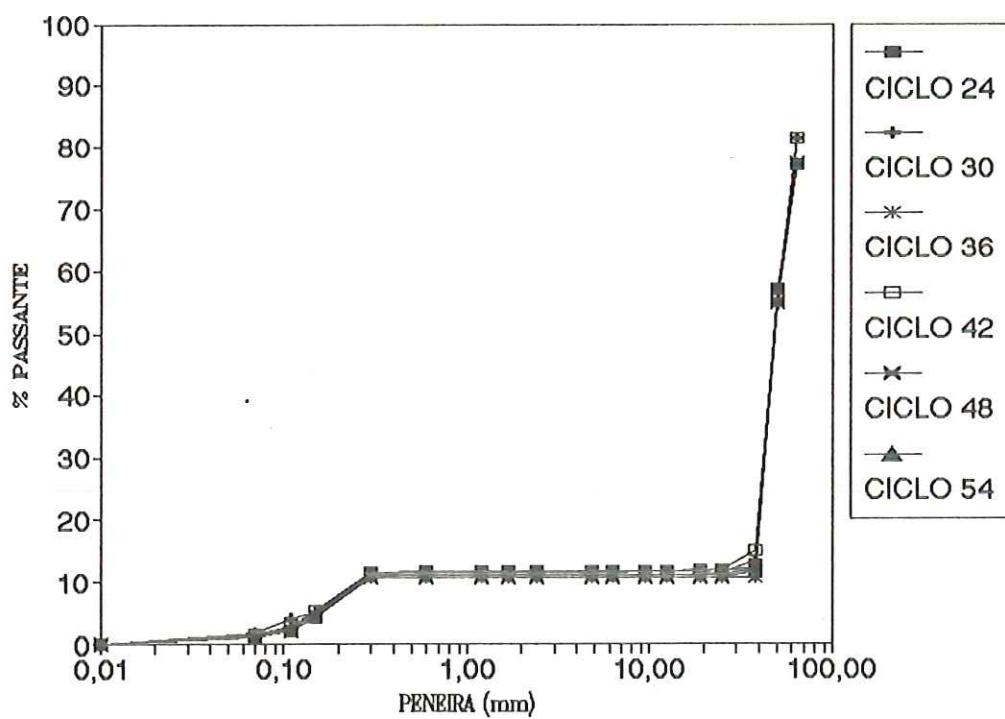
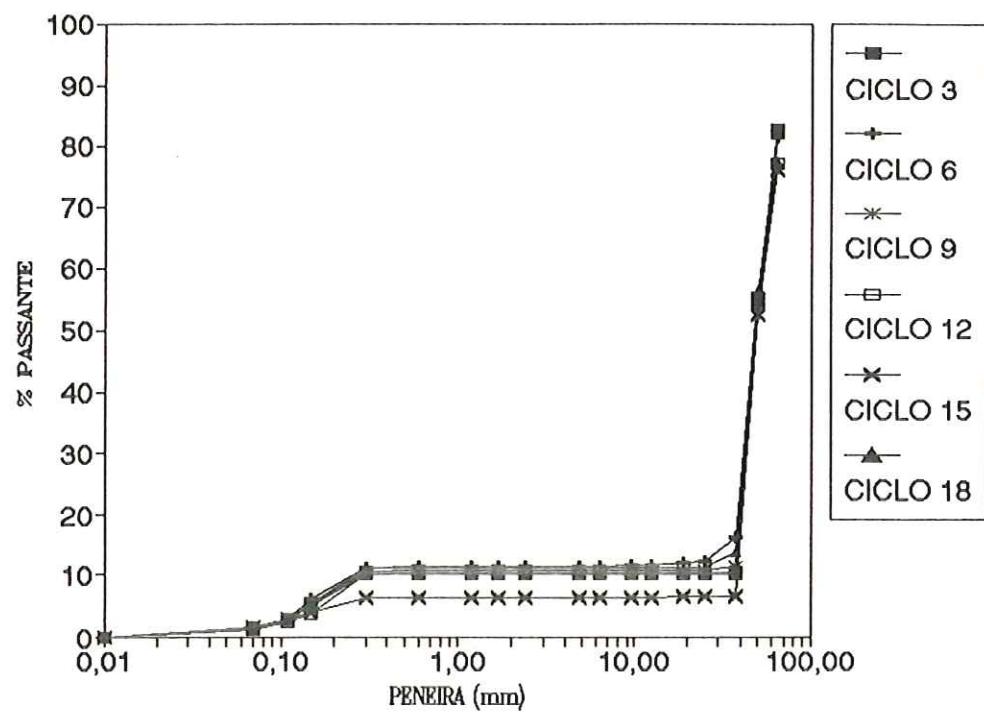


FIG. 15 Distribuições granulométricas, após abrasão, das amostras cicladas do bloco 01.

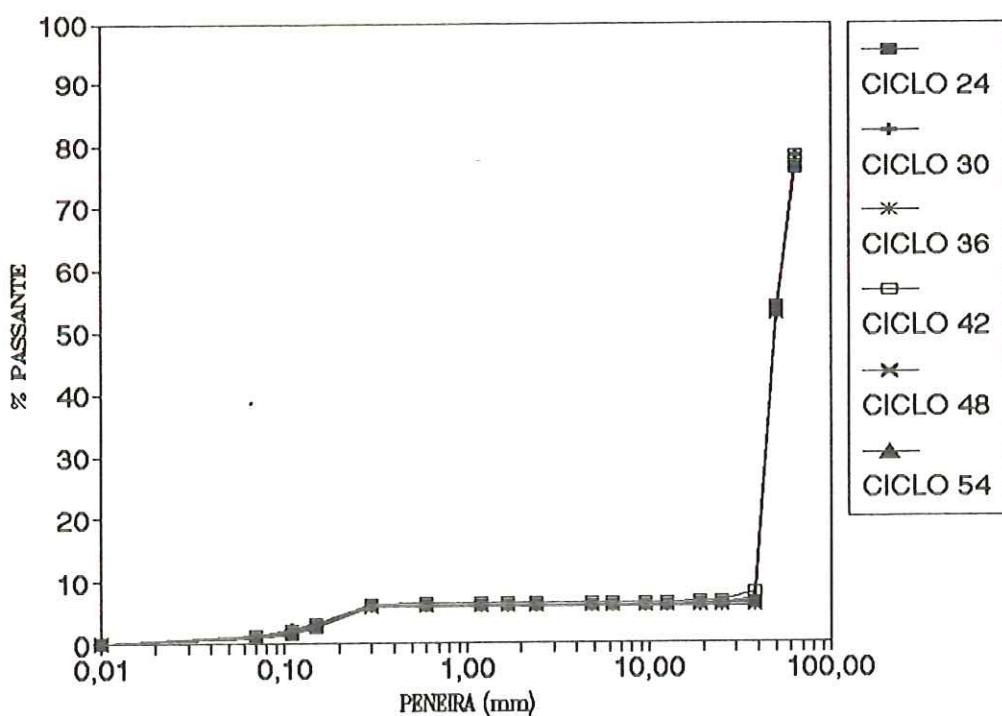
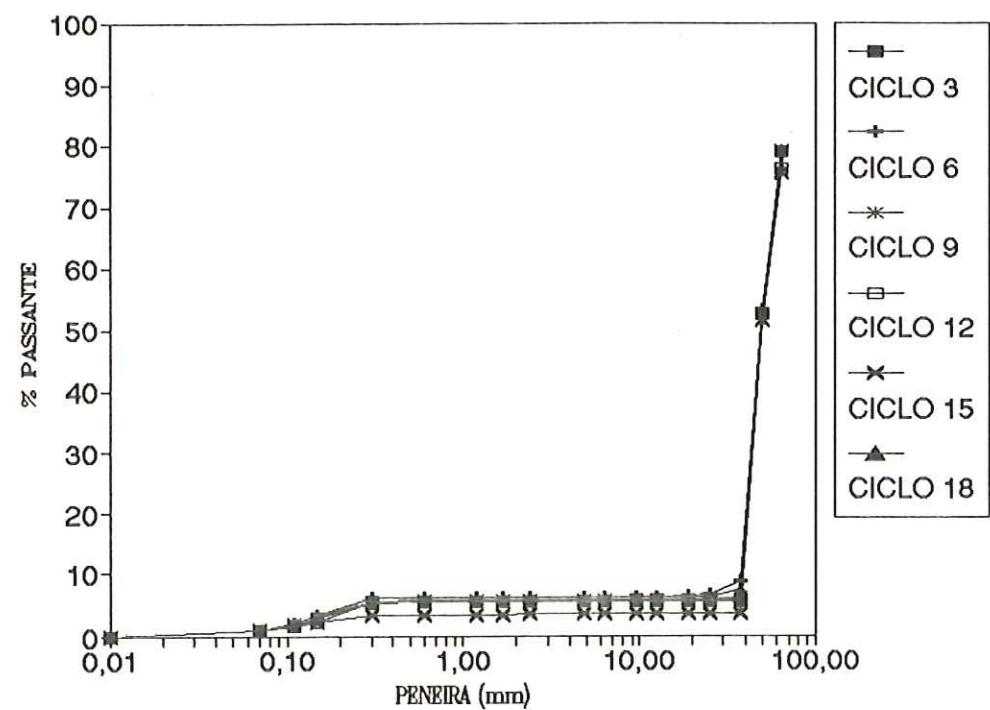


FIG. 16 Distribuições granulométricas médias das amostras do bloco 01.

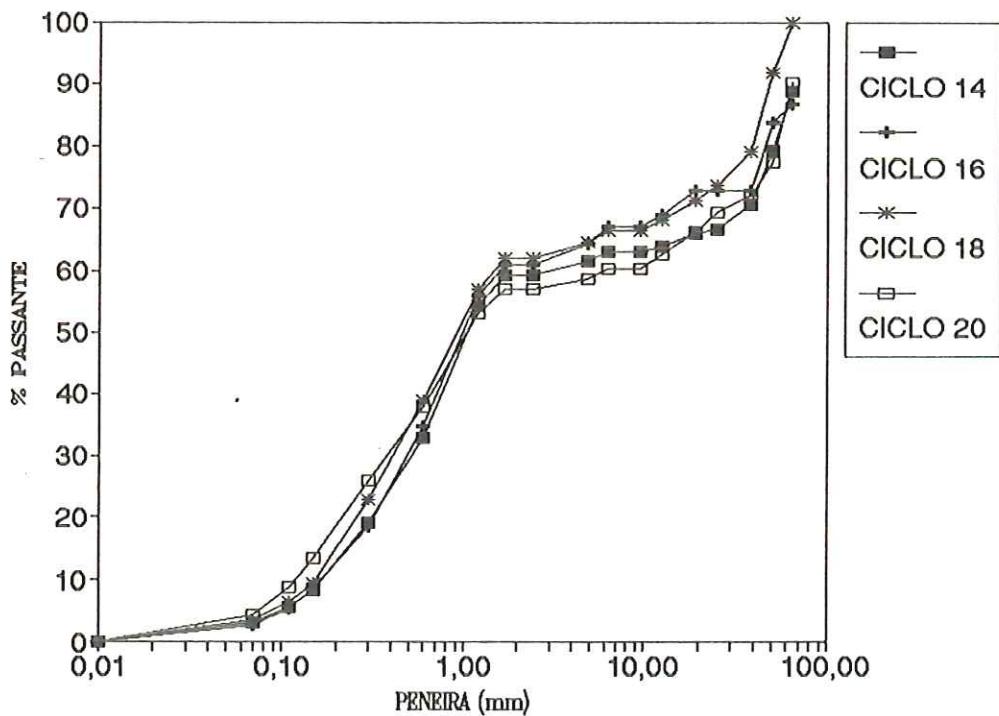
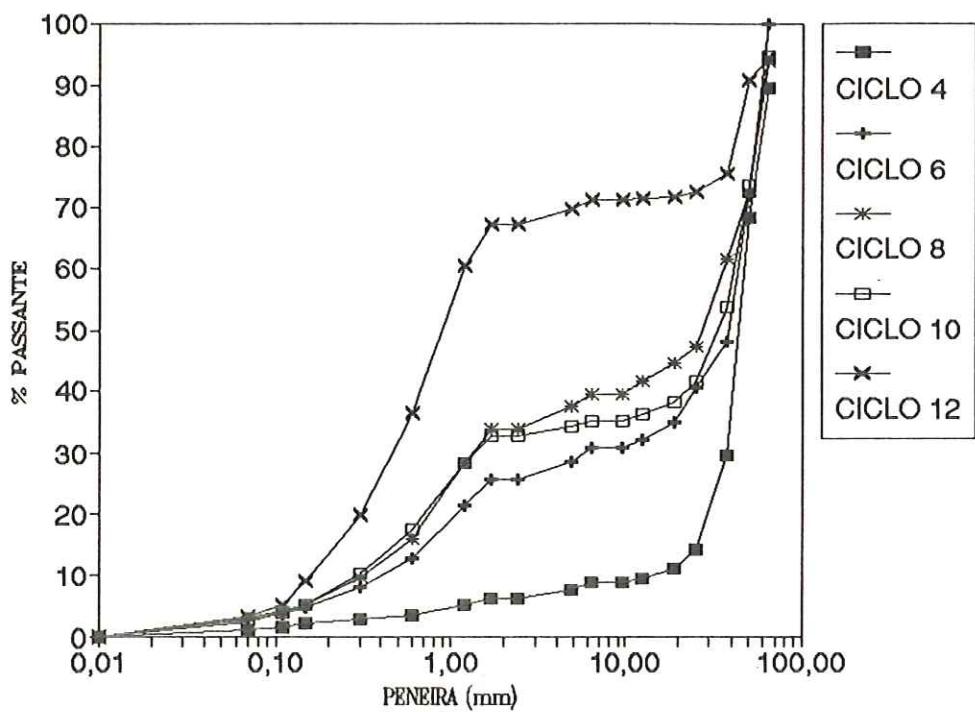


FIG 17 Distribuições granulométricas, após ciclagem, das amostras do bloco 5/10.

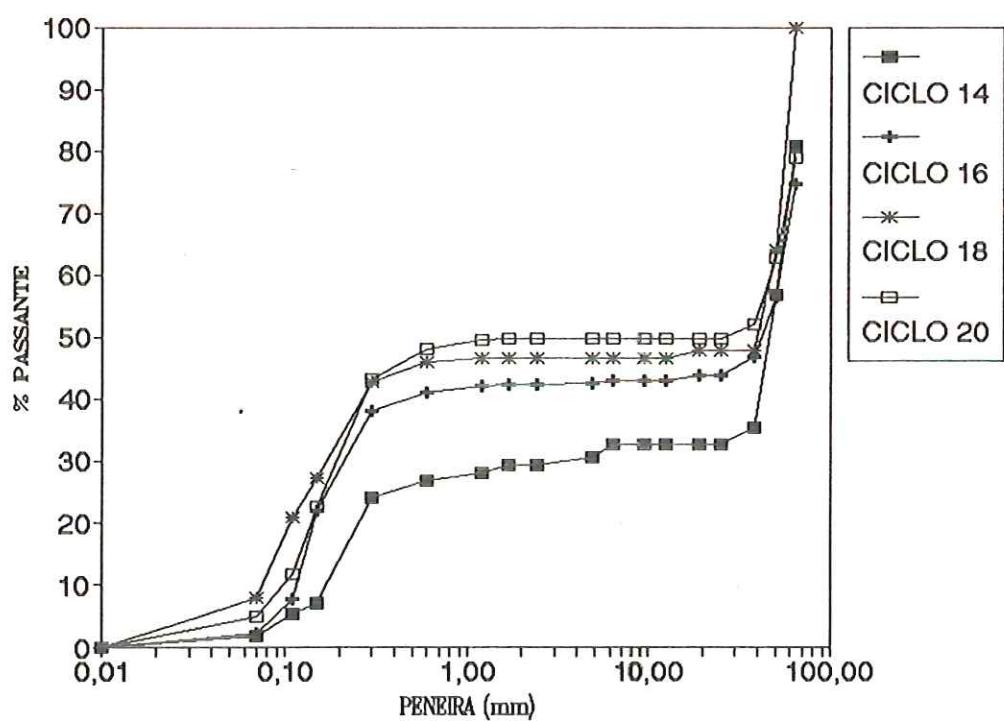
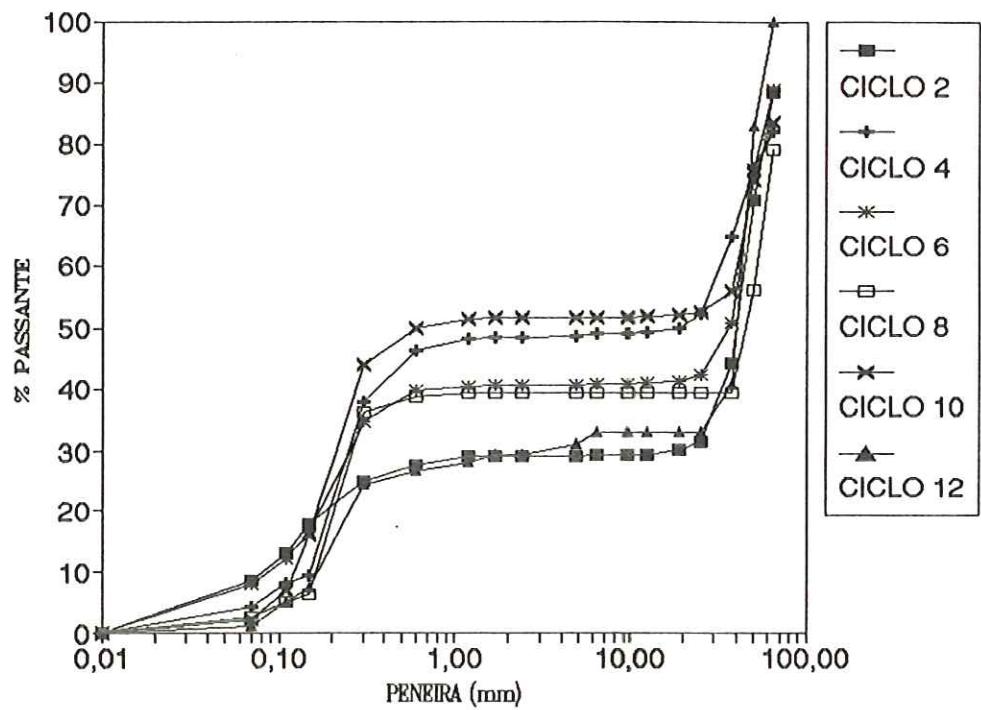


FIG.18 Distribuições granulométricas, após abrasão, das amostras cicladas do bloco 5/10.

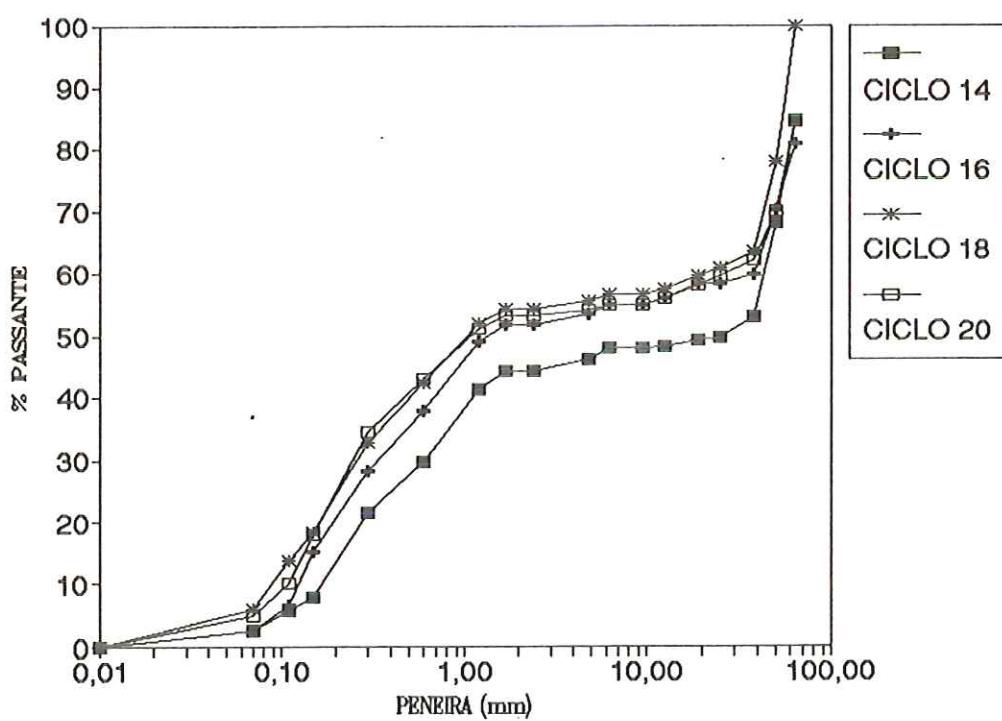
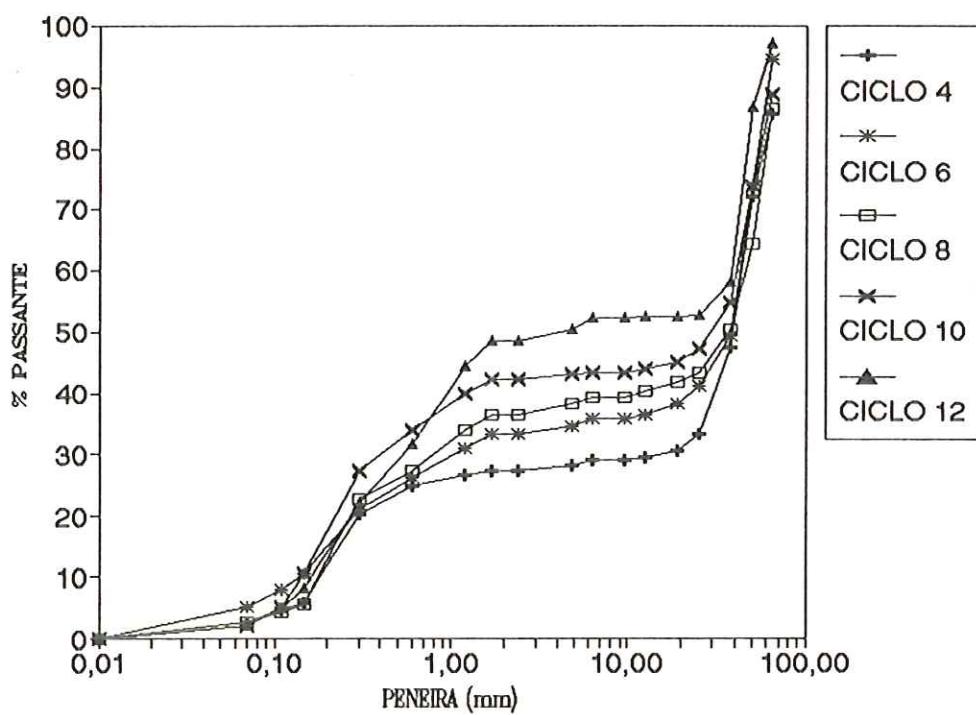


FIG. 19 Distribuições granulométricas médias das amostras do bloco 5/10.

A Figura 20 apresenta as distribuições granulométricas das amostras do bloco 11 após ciclagem, e a Figura 21, as distribuições após abrasão das amostras cicladas. Nota-se que as amostras desse bloco são também muito desagregáveis, mas diferenciam-se das do bloco 05/10, por terem sido mais sensíveis às ações mecânicas do ensaio de abrasão que as ações da ciclagem, fato já reconhecido a partir da análise dos dados de perdas de massa.

As distribuições granulométricas médias ilustradas na Figura 22 confirmam o comportamento revelado nas condições anteriores e indicam que o bloco 11 parece ser menos desagregável que o bloco 05/10.

A Figura 23 apresenta as distribuições granulométricas das amostras do bloco 21 após ciclagem, e a Figura 24, após abrasão das amostras cicladas, onde se nota um comportamento semelhante ao do bloco 01.

As distribuições granulométricas médias ilustradas na Figura 25 confirmam estes resultados e revelam desagregabilidade semelhante à do bloco 01, e indica que ambos são menos desagregáveis que os blocos 05/10 e 11.

As distribuições granulométricas das amostras, em quaisquer das condições estudadas (após ciclagem e após abrasão), revelaram-se úteis para a compreensão do comportamento dos materiais ante os processos a que foram submetidos. Apresentam, inclusive a vantagem de complementar o critério de avaliação por perdas de massa, pois este é efetuado a partir de materiais passantes em uma peneira (caso das perdas por abrasão "Los

Angeles"), ou a partir de algumas poucas peneiras (caso das perdas por ciclagem).

Finalmente, é interessante notar pelas figuras que representam as distribuições granulométricas, e também nas tabelas que contêm os dados que lhes deram origem, que há tendência à bimodalidade nas amostras. Esta informação é ilustrada principalmente pelos patamares presentes nas curvas.

Este fato revela que há maior contribuição de material removido da parte externa dos fragmentos constituintes das amostras e menor contribuição devido à fragmentação ou desintegração.

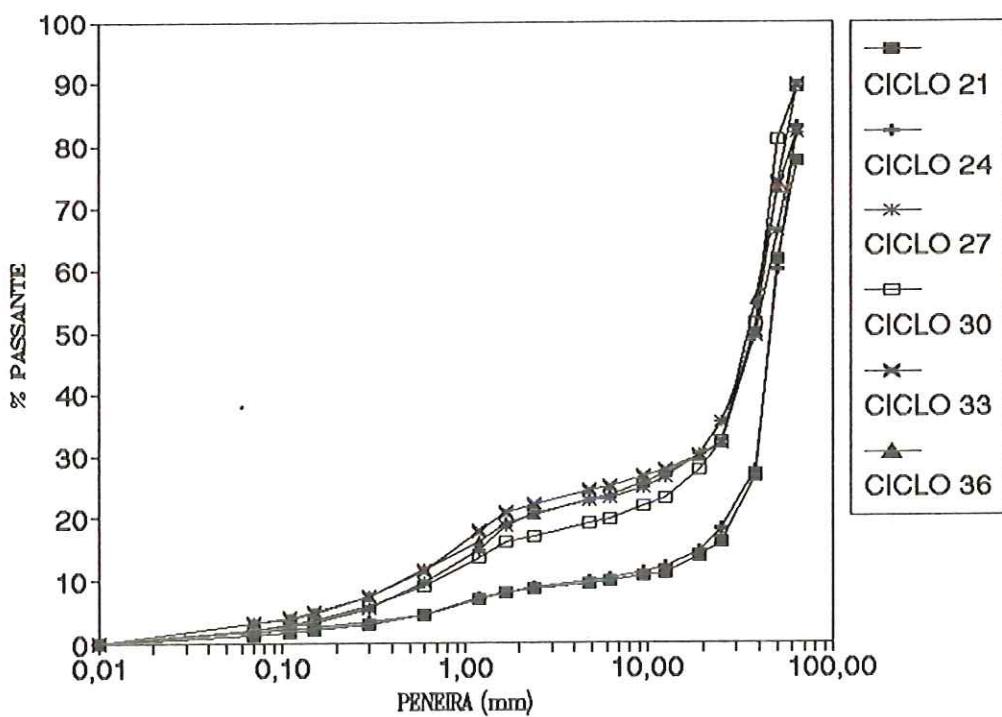
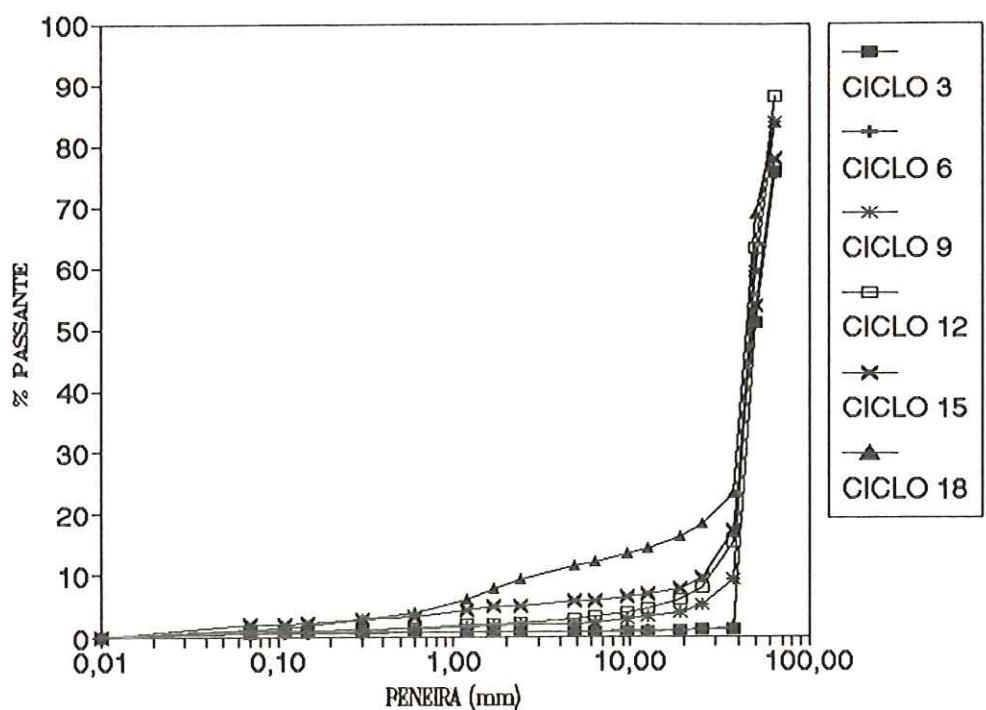


FIG. 20 Distribuições granulométricas, após ciclagem, das amostras do bloco 11.

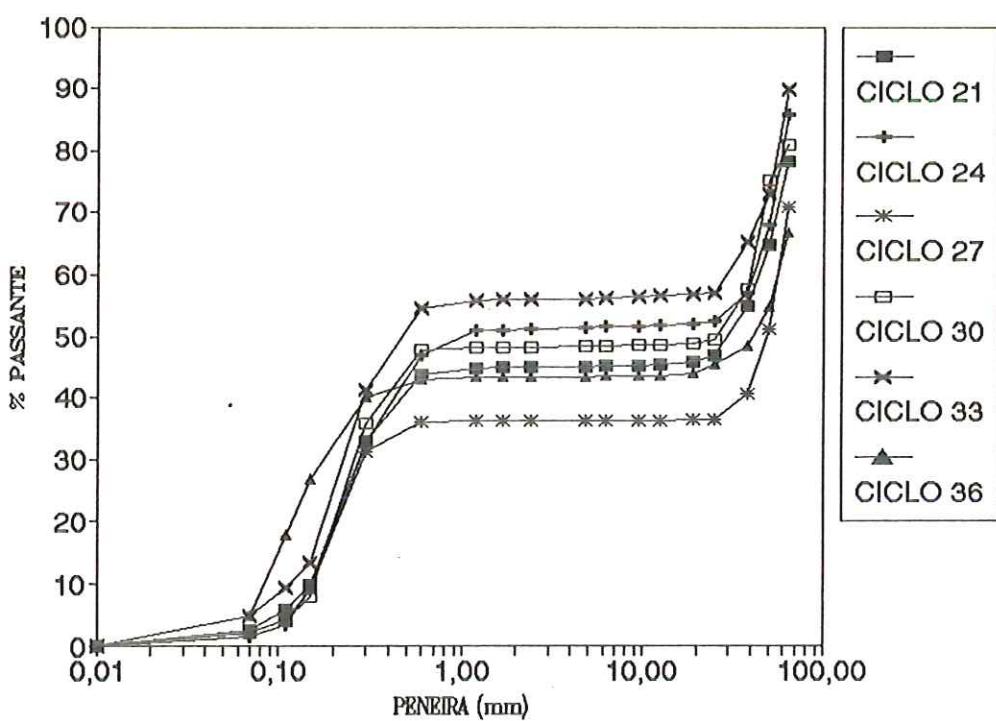
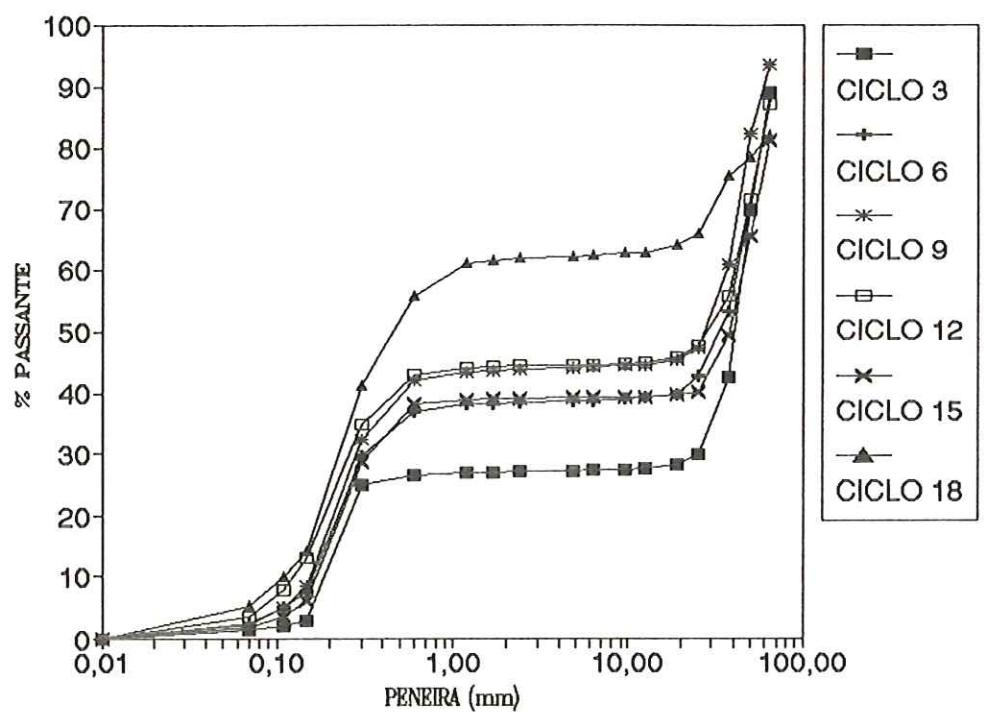


FIG. 21 Distribuições granulométricas, após abrasão, das amostras cicladas do bloco 11.

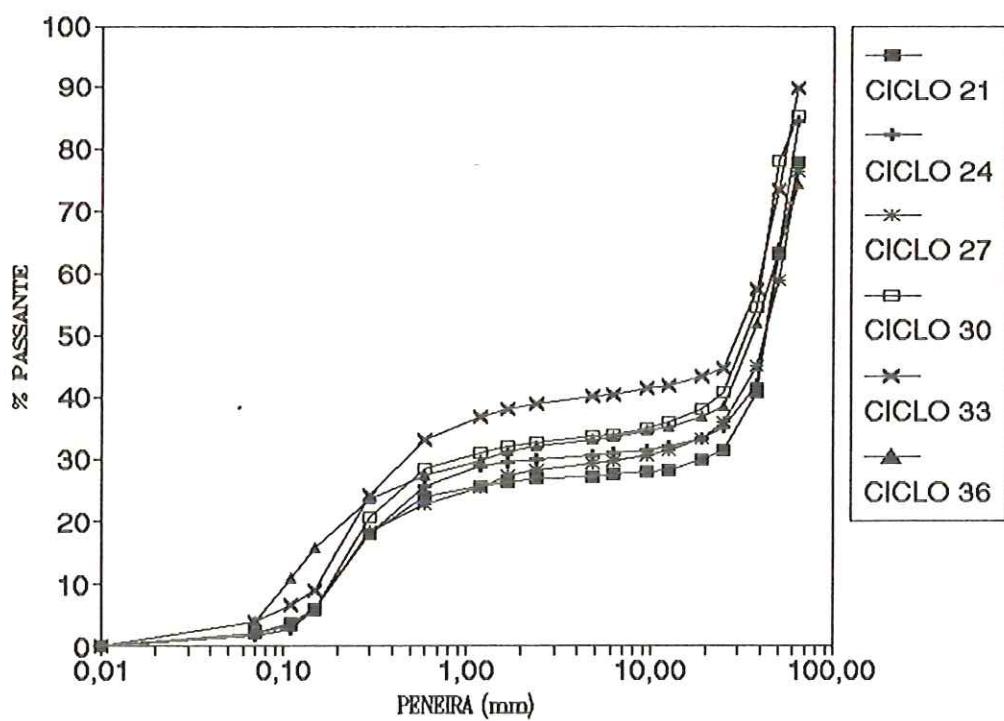
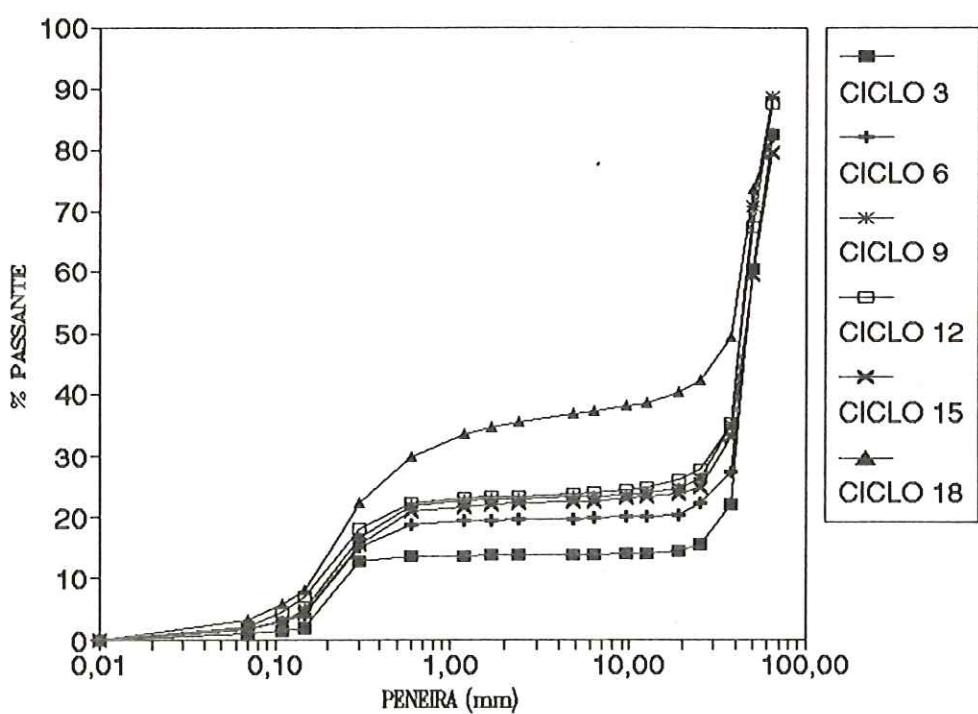


FIG. 22 Distribuições granulométricas médias das amostras do bloco 11.

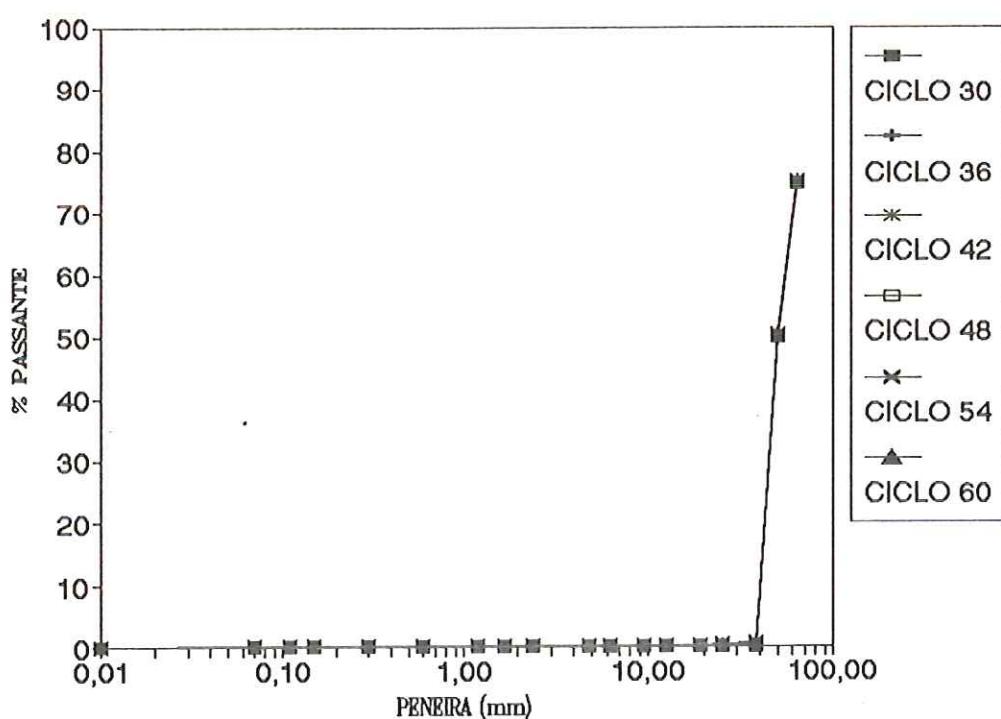
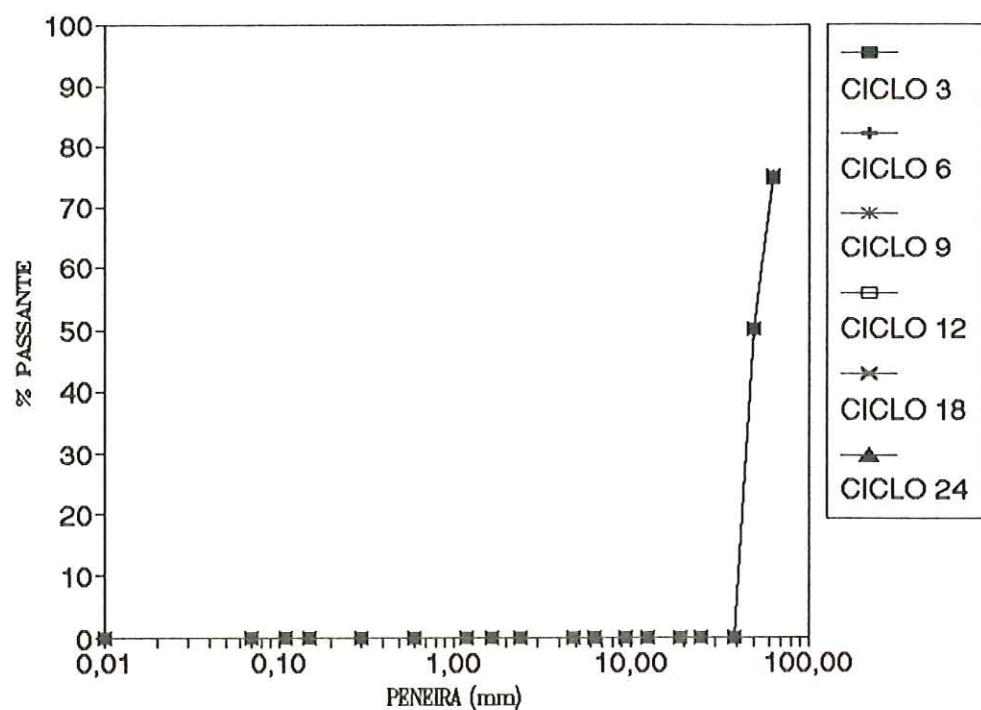


FIG. 23 Distribuições granulométricas, após ciclagem, das amostras do bloco 21.

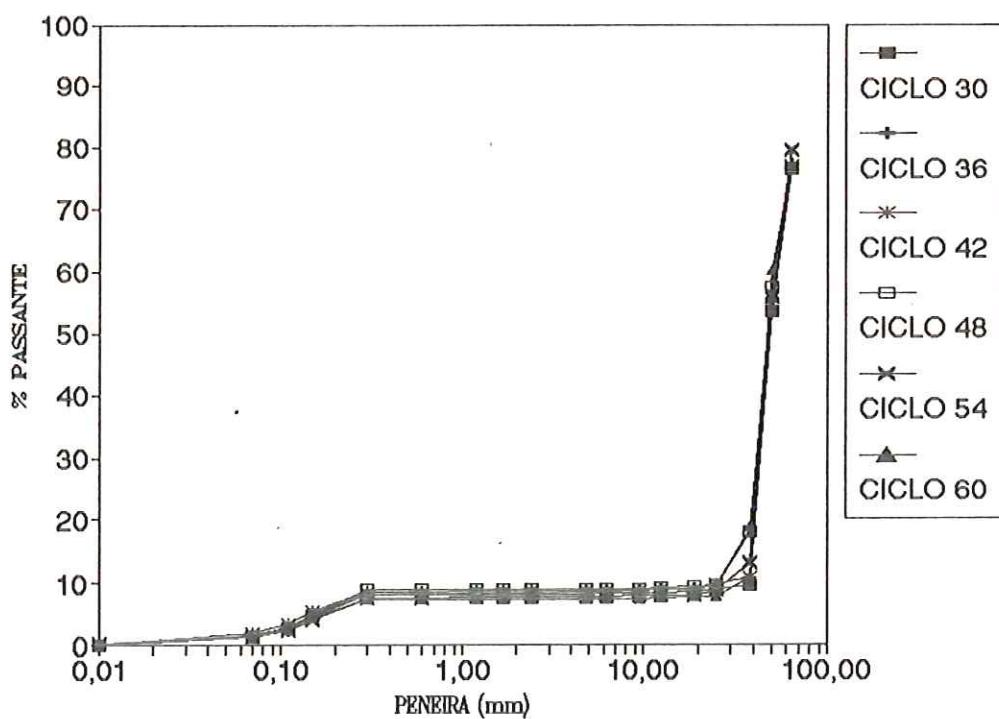
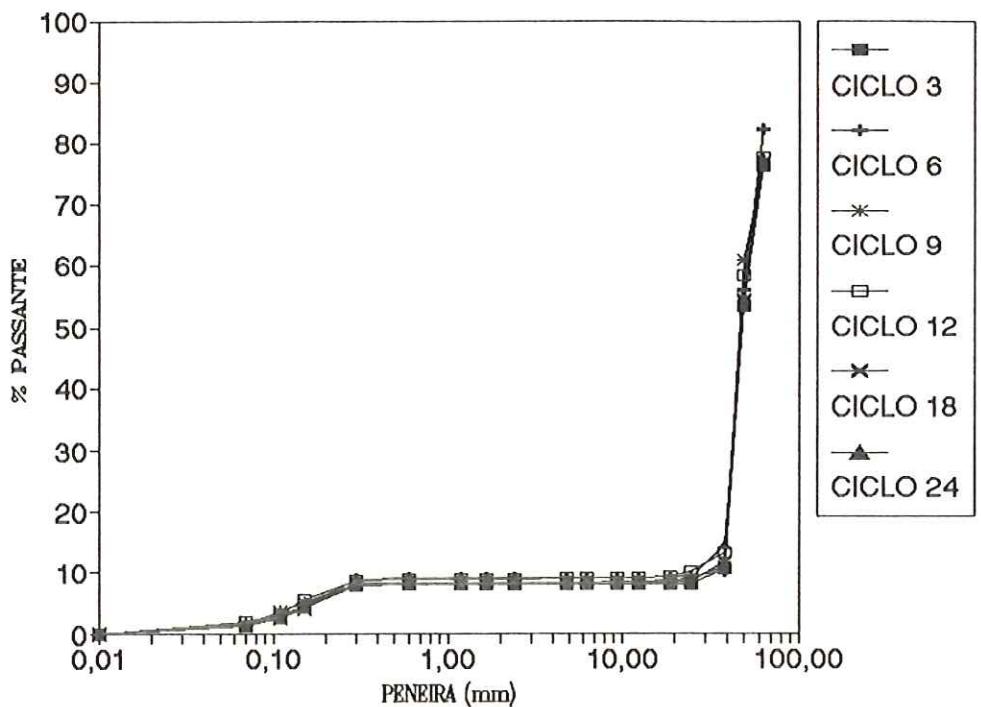


FIG. 24 Distribuições granulométricas, após abrasão, das amostras cicladas do bloco 21.

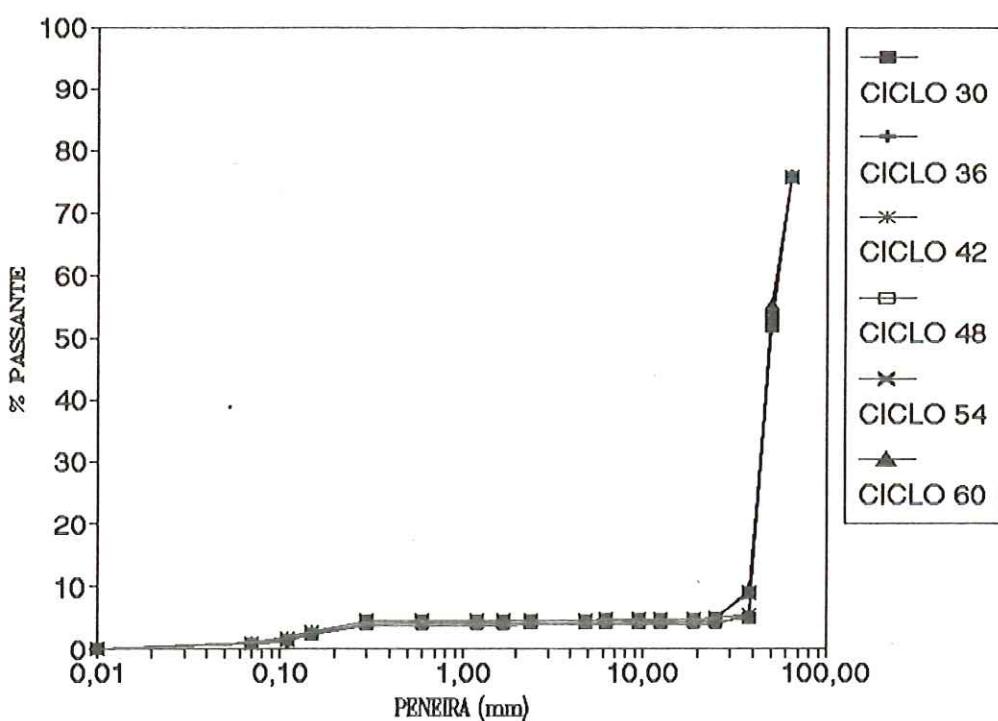
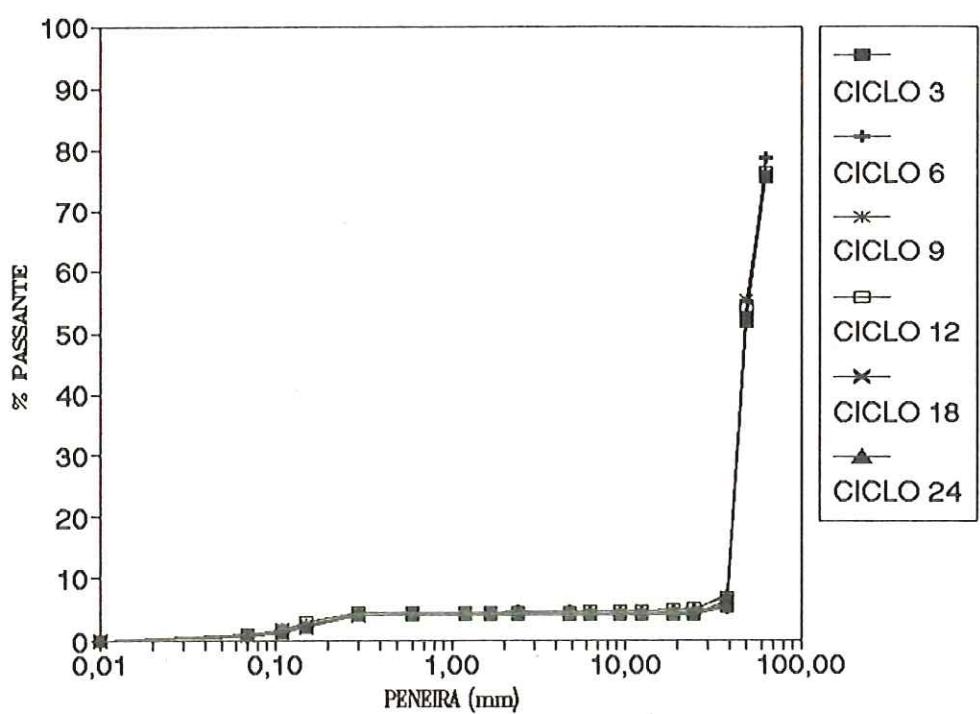


FIG. 25 Distribuições granulométricas médias das amostras do bloco 21.

## 12 RESULTADOS DOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

As Tabelas de 5 a 9 apresentam as descrições petrográficas, de forma sucinta, referentes aos materiais dos blocos 01, 05, 10, 11 e 21. Trata-se de basaltos comuns da Bacia do Paraná quanto a sua composição mineralógica e características texturais. Quanto à estrutura, variam de compacto (bloco 21) a microamigaloidal (blocos 01, 05, 10 e 11).

As alterações hidrotermal e intempérica são variáveis, desde muito fraca a fraca a média nos quatro blocos.

A alteração intempérica é evidenciada pela presença de óxidos e hidróxidos de ferro nas fissuras de minerais argilizados (em geral nos clinopiroxênios).

A microfissuração é geralmente intragranular e selada por argilominerais e óxidos/hidróxidos de ferro nos clinopiroxênios; é quase ausente nos plagioclásios. Microfissuras, cortando toda a seção delgada preenchida por carbonato, foram notadas em algumas amostras do bloco 05.

Microamígdalas (milimétricas) foram observadas em todos os blocos (menos no 21), preenchidas por argilomineral, ora acompanhado por calcedônia, ora por zeólitas. As microamígdalas dos blocos 01 são isoladas, enquanto que as do bloco 10 e 11 são interligadas.

Os argilominerais notados em todas as amostras dos diversos blocos são do tipo esmectita. As esmectitas são argilominerais expansíveis com a absorção de água. Os teores médios, avaliados visualmente, variam de 15 a 20% nas amostras dos blocos 01, 05, 10, 11. O bloco 21 apresentou teores menores que 5%.

TABELA 5 - Características petrográficas das amostras do Bloco 01.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIÇÃO
MINERALOGIA	Plagioclásio (labradorita) (~45%); Clinopiroxênio (augita) (30-35); Opacos (~5%). Outros (<5%): Calcedônia (quartzina); carbonato; apatita.
TEXTURA	Subofítica
ALTERAÇÃO HIDROTERMAL	Muito fraca a fraca tanto nos plagioclásios como nos clinopiroxênios, com início de alteração em argilominerais.
ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA	Geralmente média, na forma de "capas" e/ou preenchimento de microfissuras por óxidos e/ou hidróxidos de ferro, principalmente nos clinopiroxênios. Localmente pode haver total substituição. (5-10%)
AMÍGDALAS	Têm formas irregulares, isoladas, medindo 0,3 a 0,5 mm (largura) e 0,8 a 1,0 mm (comprimento). São preenchidas por argilomineral castanho com hábito coloforme, e geralmente tem sílica microcristalina associada.
ARGILOMINERAIS	Preenchem espaços intergranulares e/ou microamígdalas (~15%) Natureza do argilomineral: esmectita.
MICROFISSURAMENTO	Geralmente intragranular ou transgranular e soldadas, sendo menos intenso nos plagioclásios.
CLASSIFICAÇÃO	Basalto microamigdaloidal
OBSERVAÇÕES	Em duas amostras foram observadas amígdalas, milimétricas, preenchidas por argilomineral e/ou calcita. A calcedônia preenche espaços intergranulares e/ou amígdalas (nestas como "material final" de preenchimento). (*) Cristais euédricos de plagioclásio e/ou clinopiroxênio podem estar dispersos nos argilominerais totalmente envoltos por estes. Apatita ocorre como microprismas transparentes dispersos pela rocha. Classificação trivial: basalto compacto marrom-avermelhado.

TABELA 6 - Características petrográficas das amostras do Bloco 05.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIÇÃO
MINERALOGIA	Plagioclásio (labradorita) (~40%); Clinopiroxênio (augita) (~35%); Opacos (~5%). Outros (<5%): carbonato; zeólita; apatita.
TEXTURA	Subofítica
ALTERAÇÃO HIDROTERMAL	Fraca a média nos plagioclásios e clinopiroxênios, em argilomineral. Localmente, clinopiroxênio altera-se em filossilicato fibroso.
ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA	Muito fraca a fraca, nos clinopiroxênios, através de hidróxidos de ferro nas microfissuras (~5%).
AMÍGDALAS	Têm formas irregulares, geralmente estão isoladas, mas podem estar localmente interligadas. Medem até 3 mm (comprimento) e 1 mm (largura). São preenchidas por argilominerais castanho-esverdeados com hábito coliforme.
ARGILOMINERAIS	Preenchem espaços intergranulares e/ou microamígdalas (~15%) Natureza do argilomineral: esmectita.
MICROFISSURAMENTO	Geralmente intragranular ou transgranular e soldadas, sendo menos intenso nos plagioclásios.
CLASSIFICAÇÃO	Basalto microamigdaloidal.
OBSERVAÇÕES	Em algumas amostras há a presença de microfissuras, através das quais soluções carbonáticas percolantes alteram e/ou substituem os minerais ao redor. Associados às amígdalas, observam-se agregados argilosos fibroradiados, com forma circular, provavelmente zeólitas alteradas. (*) Cristais euédricos de plagioclásio e/ou clinopiroxênio podem estar dispersos nos argilominerais totalmente envoltos por estes. Apatita ocorre como microprismas transparentes dispersos pela rocha. Classificação trivial: basalto compacto cinza-esverdeado.

TABELA 7 - Características petrográficas das amostras do Bloco 10.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIÇÃO
MINERALOGIA	Plagioclásio (labradorita) (~35%); Clinopiroxênio (augita) (30-35%); Opacos (~5%). Outros (<5%): zeólita; calcedônia (muito localmente); apatita; pseudomorfos argilizados.
TEXTURA	Subofítica
ALTERAÇÃO HIDROTERMAL	Nos plagioclásios geralmente fraca; nos clinopiroxênios varia de fraca a média. Ambos nos mesmos padrões descritos anteriormente.
ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA	Fraca a média, com hidróxidos de ferro nas microfissuras de clinopiroxênio. Localmente pode haver total substituição dos clinopiroxênios por hidróxidos de ferro (~5%).
AMÍGDALAS	Têm formas irregulares e são geralmente interligadas. Medem até 8 mm (comprimento) e 2 mm (largura). São preenchidas por argilomineral esverdeado.
ARGILOMINERAIS	Preenchem espaços intergranulares e/ou microamígdalas (~20%) Natureza do argilomineral: esmectita.
MICROFISSURAMENTO	Geralmente intragranular ou transgranular e soldadas, sendo menos intenso nos plagioclásios.
CLASSIFICAÇÃO	Basalto microamigdaloidal.
OBSERVAÇÕES	Em algumas amostras, observa-se a presença de zeólita, tanto como agregados fibrorradiados de forma circular como cristais euédricos de base hexagonal, localmente alterada em argila. Muito raramente, observa-se calcedônia preenchendo "espaços finais" de amígdalas. (*) Cristais euédricos de plagioclásio e/ou clinopiroxênio podem estar dispersos nos argilominerais totalmente envoltos por estes. Apatita ocorre como microprismas transparentes dispersos pela rocha. (+) Pseudomorfos argilizados, geralmente com hidróxidos de ferro preenchendo fissuras, sugerem a presença pretérita de um tipo de piroxênio menos estável, ou mesmo olivina (?). Classificação trivial: basalto compacto cinza-esverdeado.

TABELA 8 - Características petrográficas das amostras do Bloco 11.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIÇÃO
MINERALOGIA	Plagioclásio (labradorita) (~40%); Clinopiroxênio (augita) (~35%); Opacos (5-10%). Outros (<5%): zeólita; apatita; pseudomorfos argilizados.
TEXTURA	Subofítica
ALTERAÇÃO HIDROTERMAL	Tanto nos plagioclásios como nos clinopiroxênios, varia de fraca a média, tendendo mais para esta última; nos mesmos padrões descritos anteriormente.
ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA	É muito fraca em algumas amostras, passando gradativamente de fraca a média em outras. Hidróxidos de ferro "capeam" os clinopiroxênios (~10%).
AMÍGDALAS	Têm formas irregulares, e são predominantemente interligadas. Acham-se preenchidas por argilominerais verdes e chegam a medir 1 a 2 mm (largura) e 6 a 10 mm (comprimento). Algumas amostras apresentam amígdalas com formas circulares, com 1 a 5 mm de diâmetro, preenchidas por argilominerais verdes, por vezes castanhos nos núcleos.
ARGILOMINERAIS	Preenchendo espaços intergranulares e/ou amígdalas, milimétricas (geralmente com formas circulares) muito raramente vazias ao centro. (~20%) Natureza do argilomineral: esmectita.
MICROFISSURAMENTO	Geralmente intragranular ou transgranular e soldadas, sendo menos intenso nos plagioclásios.
CLASSIFICAÇÃO	Basalto microamigdaloidal.
OBSERVAÇÕES	Em algumas amostras, observa-se a presença de zeólita, tanto como agregados fibrorradiados de forma circular como cristais euédricos de base hexagonal, localmente alterada em argila. Muito raramente, observa-se calcedônia preenchendo "espaços finais" de amígdalas. (*) Cristais euédricos de plagioclásio e/ou clinopiroxênio podem estar dispersos nos argilominerais totalmente envoltos por estes. Apatita ocorre como microprismas transparentes dispersos pela rocha. (+) Pseudomorfos argilizados, geralmente com hidróxidos de ferro preenchendo fissuras, sugerem a presença pretérita de um tipo de piroxênio menos estável, ou mesmo olivina (?). Classificação trivial: basalto compacto microvesicular cinza-esverdeado.

TABELA 9 - Características petrográficas das amostras do Bloco 21.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIÇÃO
MINERALOGIA	Plagioclásio (labradorita) (~50-55%); Clinopiroxênio (augita) (35-40%); Opacos (5%). Outros (<5%): pseudomorfos argilizados; zeólita; carbonato.
TEXTURA	Intergranular a subofítica
ALTERAÇÃO HIDROTERMAL	Tanto nos plagioclásios como nos clinopiroxênios, varia de fraca a média, tendendo mais para esta última; nos mesmos padrões descritos anteriormente.
ALTERAÇÃO INTEMPÉRICA	Muito fraca, dada somente pela presença de hidróxidos de ferro nas fissuras dos minerais argilizados.
ARGILOMINERAIS	Preenchendo espaços intergranulares. Observaram-se dois tipos (?) de argila: uma verde-escura, geralmente substituindo mineral e outra verde-"garrafa", ocupando espaços intergranulares (até 0,5 mm). (~5%) Natureza do argilomineral: esmectita e interestratificado do tipo ilita-esmectita.
MICROFISSURAMENTO	Geralmente intragranular ou transgranular e soldadas, porém um pouco mais intenso nos plagioclásios.
CLASSIFICAÇÃO	Basalto compacto.
OBSERVAÇÕES	(+) Pseudomorfos argilizados, geralmente com hidróxidos de ferro preenchendo fissuras, sugerem a presença pretérita de um tipo de piroxênio menos estável, ou mesmo olivina (?). Classificação trivial: basalto compacto microvesicular cinza-esverdeado. Zéólita ocorre esporadicamente, na mesma forma que no Bloco 10, porém mais alterada. Classificação trivial: basalto compacto cinza-escuro.

Como se pode notar, não há características fortemente distintivas entre os basaltos, do ponto de vista microscópico, que dêem satisfatório suporte ao seu comportamento, quanto à alterabilidade. Nota-se que o teor de argilominerais do bloco 01 é tão alto quanto os das amostras dos blocos 05, 10 e 11, apesar de estes serem muito mais alteráveis que aqueles.

Considerando, contudo, que a ação deletéria dos argilominerais expansíveis só poderá ocorrer quando a água a estes tiver acesso, pode-se, talvez, explicar a baixa alterabilidade do bloco 01 pelo fato de que nele parte dos argilominerais está nas microamígdalas e estas estão isoladas. Por outro lado, as microamígdalas dos blocos 05, 10 e 11 se interligam e podem, assim, facilitar a permeação de água. Conseqüentemente, a água atingiria os argilominerais e, eventualmente, provocaria expansões. Estas desenvolveriam, então, tensões com magnitudes capazes de enfraquecer as amostras.

A Tabela 10 apresenta os resultados dos ensaios de alteração com etileno-glicol, de abrasão "Los Angeles", de velocidade de propagação de ultra-som, de resistência à compressão uniaxial, de índices físicos e de impacto Treton.

A análise destes dados permite verificar as seguintes seqüências de valores, em ordem descrescente:

- a) alteração com etileno-glicol: 05/10>11>01>21;
- b) abrasão "Los Angeles": 05/10>11>01>21;
- c) propagação de ultra-som:
  - ca) condição seca: 21>01>11>05/10;

TABELA 10 - Resultados dos ensaios de caracterização tecnológica

	PERDAS COM ETILENO- GLICOL (%)	PERDAS POR ABRASÃO "LOS ANGELES" (%)	PERDAS POR IMPACTO TRETON (%)	VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ULTRASSOM (m/s)		
				CONDIÇÕES		Vp sec/ sat
Bloco 01	31,0 ±11,8 (38,2%) (N = 3)	10,3 ±1,50 (14,8%) (N = 3)	13,3 ±10,60 (4,6%) (N = 9)	4.698 ±150 (1,1%) (N = 9)	4.957 ±132 (0,6%) (N = 9)	0,95
Bloco 05/10	92,7 ±12,7 (13,7%) (N = 3)	15,3 ±1,50 (10,0%) (N = 3)	13,4 ±11,06 (7,8%) (N = 9)	3.020 ±1346 (11,5%) (N = 30)	3.888 ±1301 (7,7%) (N = 30)	0,78
Bloco 11	53,1 ±17,99 (15,0%) (N = 3)	14,3 ±2,50 (17,6%) (N = 3)	12,1 ±11,37 (11,3%) (N = 9)	3.864 ±1458 (11,8%) (N = 17)	4.935 ±1352 (8,0%) (N = 17)	0,88
Bloco 21	10,7 ±17,31 (68,3%) (N = 3)	8,1 ±10,25 (3,1%) (N = 3)	6,4 ±10,78 (11,9%) (N = 9)	5.420 ±147 (0,90%) (N = 7)	5.677 ±16,0 (0,3%) (N = 7)	0,95

	MASSA ESPECÍFICA APARENTE SECA (kg/m³)	POROSIDADE APARENTE (%)	ABSORÇÃO D'ÁGUA (%)	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO UNIAXIAL (MPa)
Bloco 01	2.773 ±134,7 (1,25%) (N = 9)	6,91 ±10,75 (10,9%) (N = 9)	2,50 ±10,29 (11,8%) (N = 9)	147 ±13,1 (8,9%) (N = 9)
Bloco 05/10	2.704 ±181,8 (3,02%) (N = 25)	9,76 ±12,24 (23,0%) (N = 25)	3,65 ±10,98 (26,8%) (N = 25)	122 ±9,7 (7,9%) (N = 30)
Bloco 11	2.693 ±172,7 (3,73%) (N = 14)	8,91 ±12,09 (23,5%) (N = 14)	3,33 ±10,88 (26,3%) (N = 14)	117,2 ±10,1 (8,6%) (N = 17)
Bloco 21	2.677 ±10,07 (2,53%) (N = 5)	3,65 ±11,64 (44,9%) (N = 5)	1,28 ±10,60 (47,2%) (N = 5)	215,7 ±10,8 (5,0%) (N = 7)

NOTA: Vp sec = velocidade de propagação de onda P no estado seco

Vp sat = velocidade de propagação de onda P no estado saturado

N = quantidade de determinações

B133m2  
 MBA  
 CMB/ST

cb) condição saturada:	21>01>11>05/10;
cc) seca/saturada:	21=01>11>05/10;
d) compressão uniaxial:	21>01>05/10>11;
e) índices físicos	
massa específica aparente:	21>01>05/10>11;
porosidade aparente:	05/10>11>01>21;
absorção d'água:	05/10>11>01>21;
f) impacto Treton:	05/10=01>11>21.

A análise destas seqüências de valores permite verificar que há grande concordância de resultados entre perdas por etileno-glicol, velocidades de propagação de ultra-som, porosidade aparente, absorção d'água e abrasão "Los Angeles", embora este não tenha discriminado com nitidez as amostras dos blocos 05/10 e 11.

Os resultados de compressão uniaxial e de massa específica aparente tiveram seqüência de valores idêntica, mostrando, talvez, boa concordância entre si, porém diferente da apresentada pelos resultados dos outros ensaios.

Os resultados de impacto Treton foram os que mais divergiram dos demais, pois igualou o bloco 01 ao bloco 05/10, apresentados como de resistências muito diferentes pelos outros ensaios. Além disso, não discriminou com nitidez a resistência desses blocos da do bloco 11 e o fez apenas para o bloco 21.

A faixa de variação dos valores das propriedades aqui analisadas, os desvios padrão e coeficiente de variação estão ilustrados nas Figuras 26 a 34, onde se nota que o etileno-glicol e a velocidade de propagação de ultra-som no estado seco discriminaram perfeitamente as amostras dos quatro blocos,

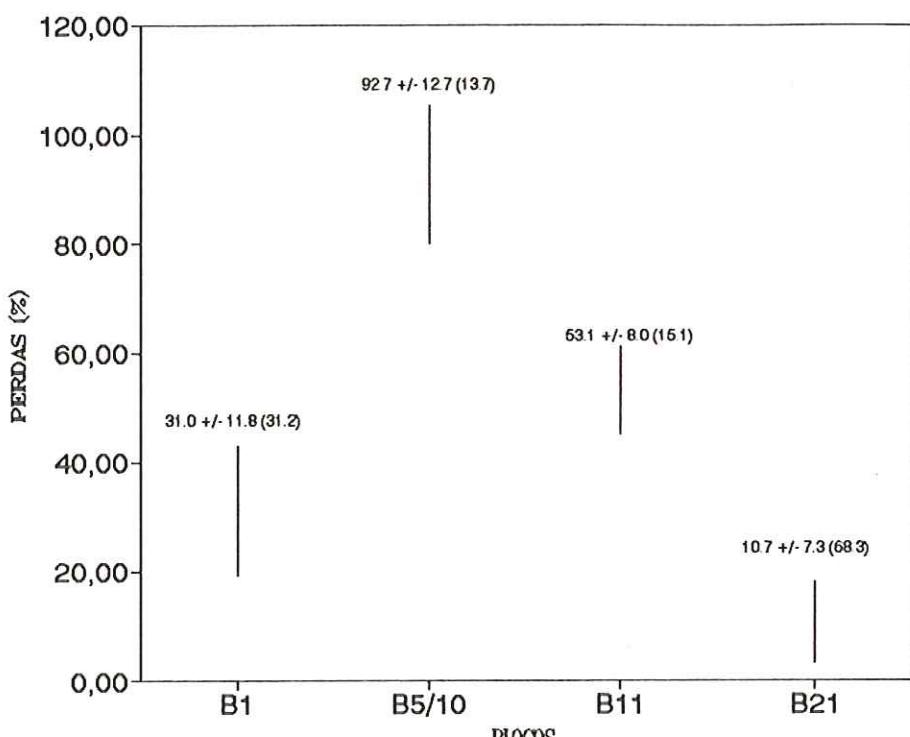


FIG. 26 Gráfico de máximos e mínimos dos valores de perda de massa por imersão em etileno-glicol.

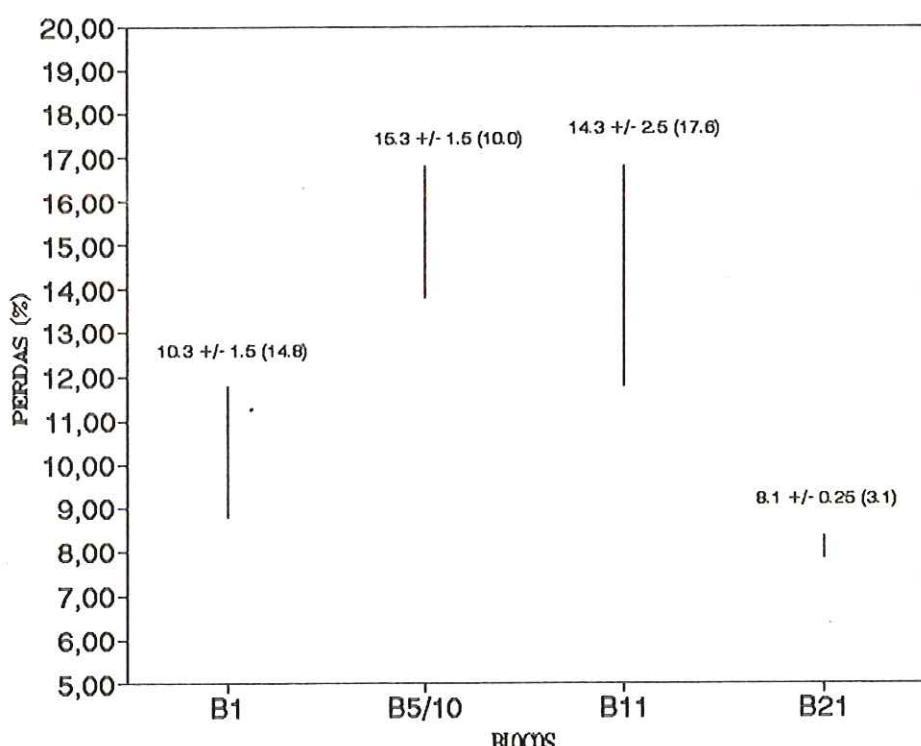


FIG. 27 Gráfico de máximos e mínimos dos valores de perda de massa por abrasão 'Los Angeles'.

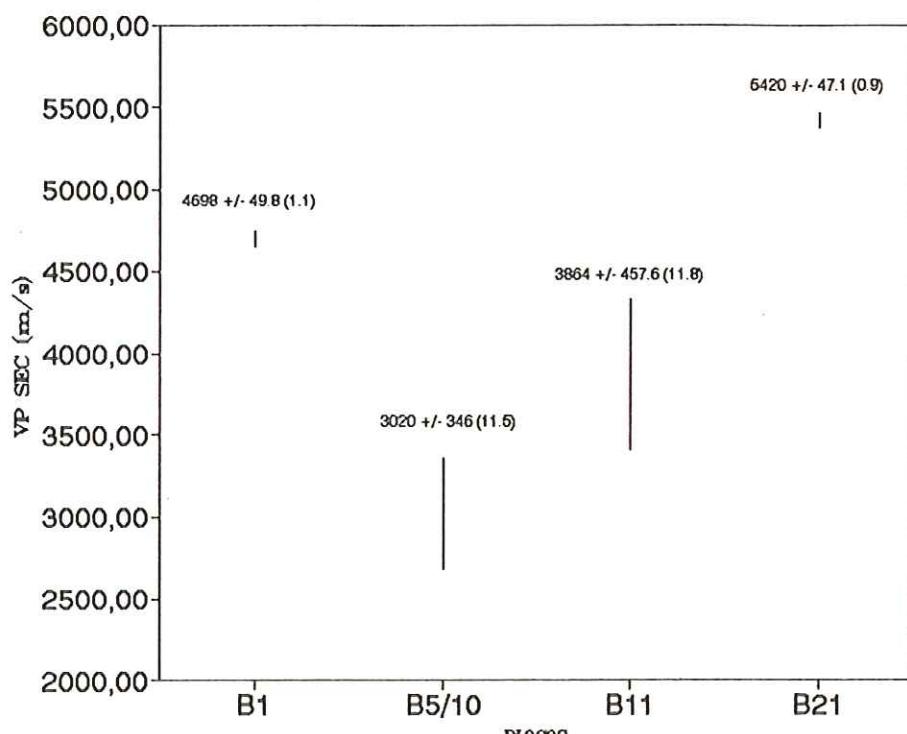


FIG. 28 Gráfico de máximos e mínimos dos valores de velocidade de propagação de ultra-som no estado seco.

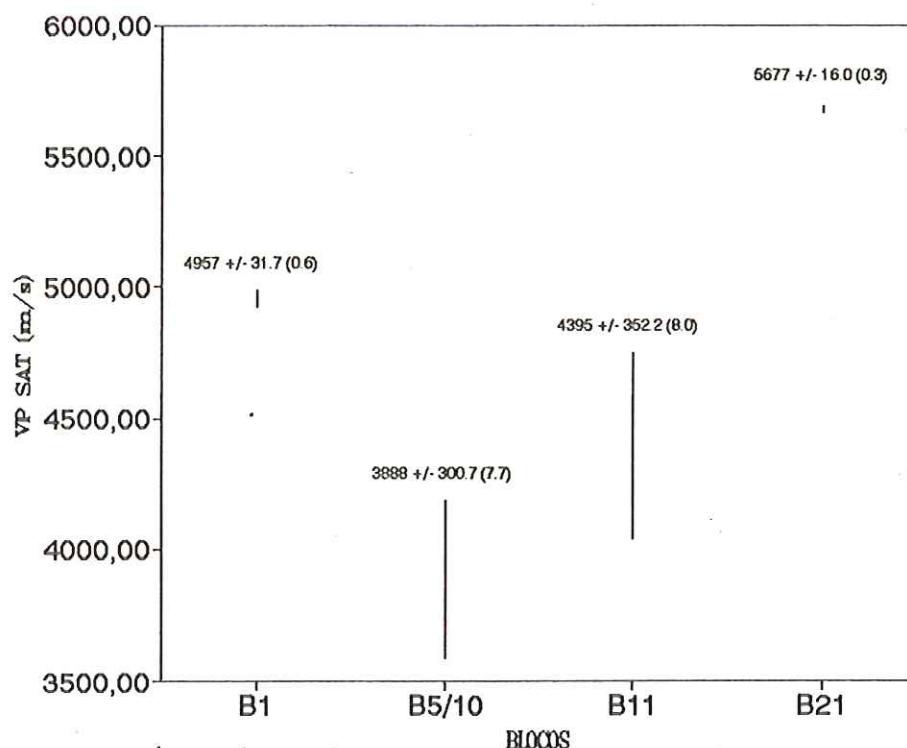


FIG. 29 Gráfico de máximos e mínimos dos valores de velocidade de propagação de ultra-som no estado saturado.

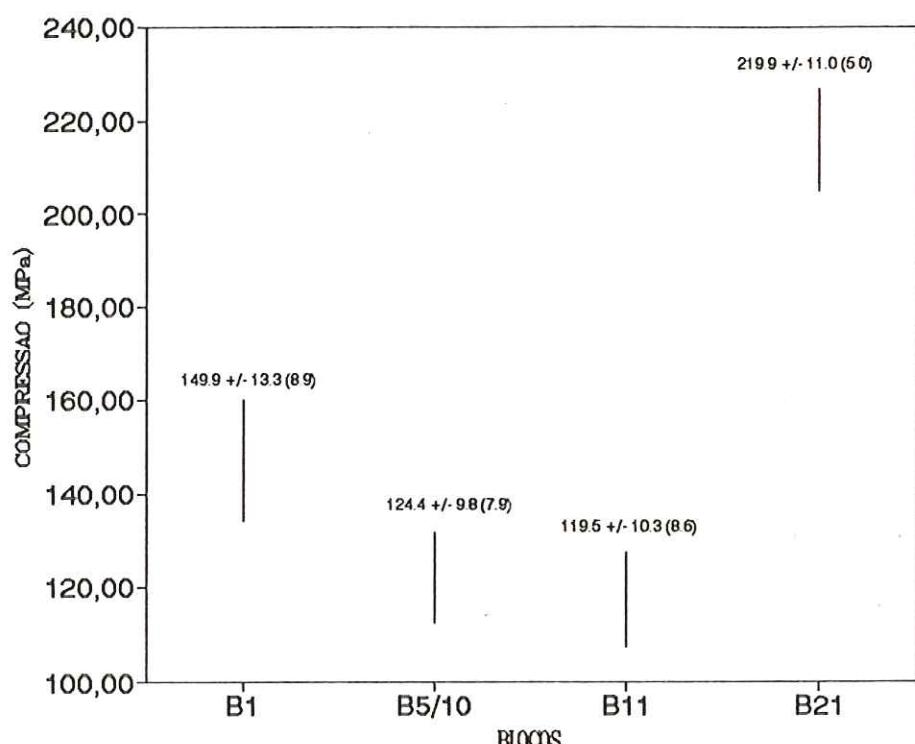


FIG. 30 Gráfico de máximos e mínimos dos valores de tensão de ruptura na compressão uniaxial.

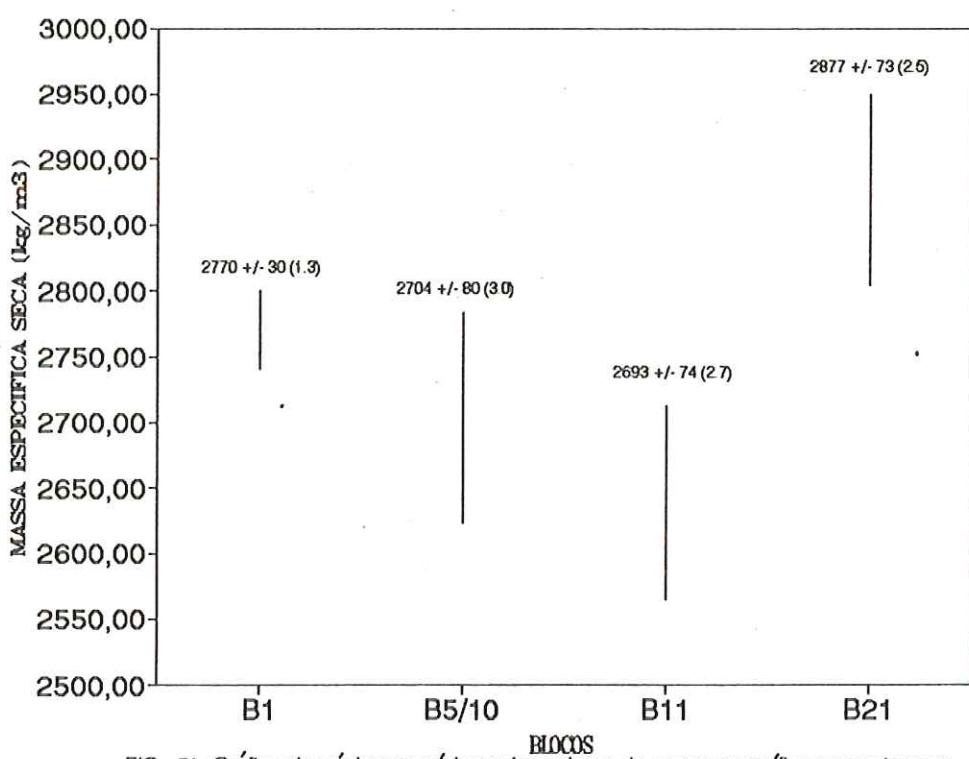


FIG. 31 Gráfico de máximos e mínimos dos valores de massa específica aparente seca.

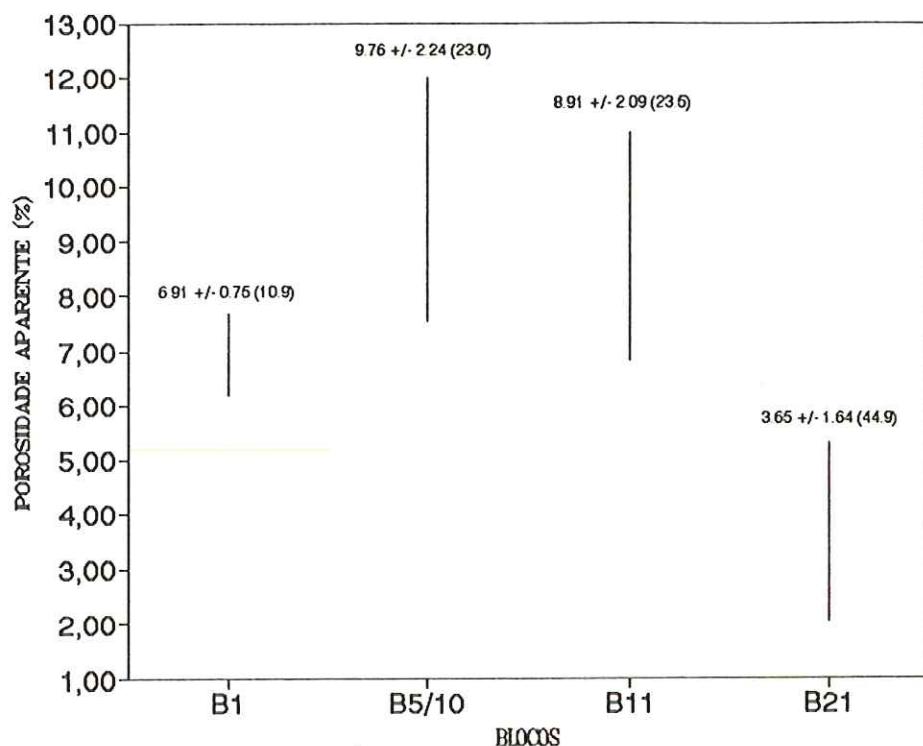


FIG. 32 Gráfico de máximos e mínimos dos valores de porosidade aparente.

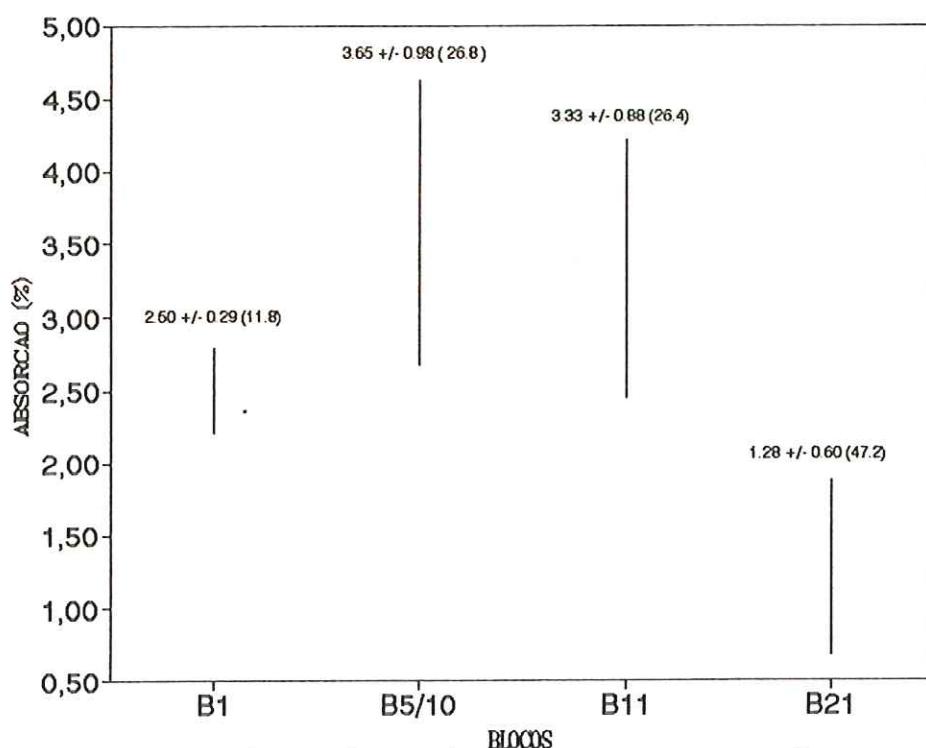


FIG. 33 Gráfico de máximos e mínimos dos valores de absorção de água.

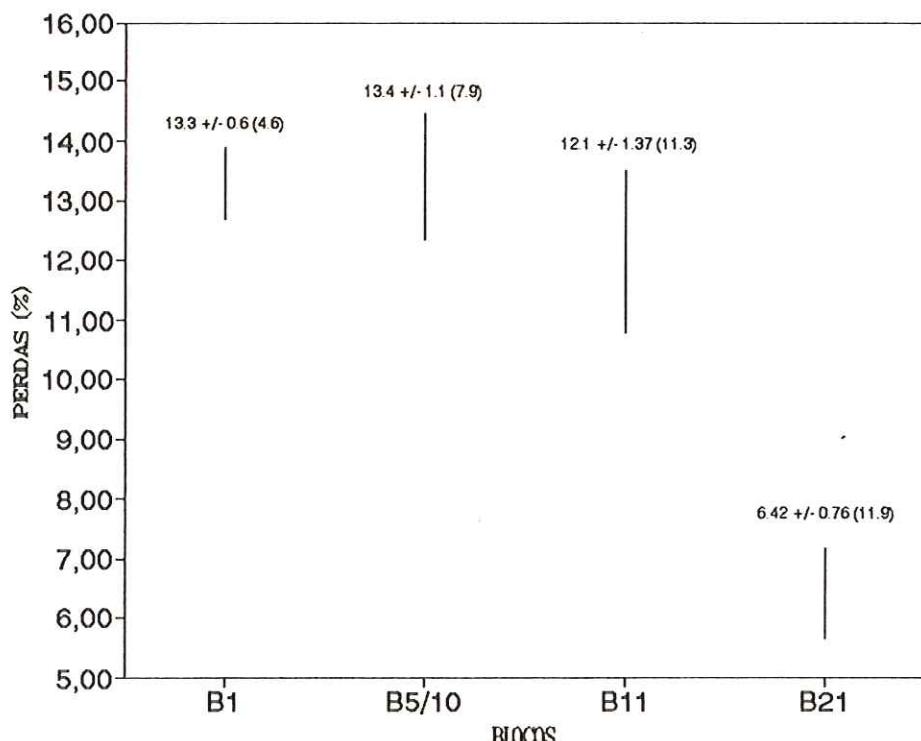


FIG. 34 Gráfico de máximos e mínimos dos valores de perda de massa por impacto TRETON.

enquanto que a discriminação foi algo menor para a velocidade no estado saturado para os blocos 05/10 e 11. Nota-se, também, que porosidade aparente e absorção d'água, compressão e impacto discriminaram com nitidez apenas os blocos 21 dos demais.

Apesar de os valores médios da maioria das propriedades analisadas terem discriminado os diversos blocos, é interessante notar que a distribuição dos valores individuais não revelou o mesmo comportamento, por apresentar superposição dos valores extremos.

Este fato chama a atenção para a necessidade de se utilizar uma quantidade estatisticamente representativa de amostras para expressar com adequada segurança as propriedades estudadas.

A Tabela 11 apresenta os valores de alguns índices de alteração, ou alterabilidade, calculados com base nos resultados dos ensaios de caracterização, tomando como referência o bloco 21.

Os resultados ali apresentados representam um exercício de aplicação de alguns índices, dentre os vários citados na literatura. Embora os quatro blocos provenham de diferentes derrames, o exercício foi elaborado considerando que os blocos são do mesmo tipo petrográfico, porém assumindo que apresentam estados de alteração diferentes, e que o bloco 21 seria o menos alterado.

Considerando que tais índices variam de zero a 1, significando material não-alterável e totalmente alterável, respectivamente, nota-se que os índices estão em concordância com os resultados de ensaios individuais já analisados, com exceção

do índice Irc, que inverteu o bloco 11 com o bloco 05/10, o índice Irt, que igualou o bloco 11 ao bloco 01 e do índice Id, que se mostrou não-aplicável devido a não-concordância da massa específica com outras as propriedades investigadas. Notar que Ivp sat mostrou seqüência inversa ao do Ivp sec.

Estes índices revelaram-se, portanto, aplicáveis, pois, considerando-se o bloco 21 como o menos alterável, os outros seguem a mesma seqüência de alterabilidade abordada anteriormente. Nota-se, novamente, o mesmo comportamento já mencionado para os valores de massa específica e compressão uniaxial, bem como de impacto Treton. Os valores de abrasão "Los Angeles", porém, mostraram na forma de índice, melhor eficácia para discriminar os blocos que os respectivos valores individuais de ensaio.

TABELA 11 - Resultados de alguns índices de alteração ou de alterabilidade, calculados com base nos ensaios de caracterização, tomando como referência os resultados do bloco 21.

Propriedade	Índices de alteração	Autores
porosidade aparente, In	$In = (n_{05/10} - n_{21})/n_{05/10} = 0,65$ $In = (n_{11} - n_{21})/n_{11} = 0,61$ $In = (n_{01} - n_{21})/n_{01} = 0,51$	Ladeira e Minette (1984b)
absorção aparente, Ia	$Ia = (a_{05/10} - a_{21})/a_{05/10} = 0,88$ $Ia = (a_{11} - a_{21})/a_{11} = 0,87$ $Ia = (a_{01} - a_{21})/a_{01} = 0,83$	Ladeira e Minette (1984b)
massa específica aparente, Id	$Id = (d_{21} - d_{05/10})/d_{21} = 0,05$ $Id = (d_{21} - d_{11})/d_{21} = 0,06$ $Id = (d_{21} - d_{01})/d_{21} = 0,03$	Ladeira e Minette (1984b)
velocidade de propagação de ultra-som nos estados seco e saturado, Ivp	$Ivp\ sec = (vp_{21} - vp_{05/10})/vp_{21} = 0,45$ $Ivp\ sec = (vp_{21} - vp_{11})/vp_{21} = 0,29$ $Ivp\ sec = (vp_{21} - vp_{01})/vp_{21} = 0,14$  $Ivp\ sat = (vp_{21} - vp_{05/10})/vp_{21} = 0,13$ $Ivp\ sat = (vp_{21} - vp_{11})/vp_{21} = 0,23$ $Ivp\ sat = (vp_{21} - vp_{01})/vp_{21} = 0,32$	Iliev (1966)
resistência à compressão uniaxial, Irc	$Irc = (c_{21} - c_{05/10})/c_{21} = 0,44$ $Irc = (c_{21} - c_{11})/c_{21} = 0,46$ $Irc = (c_{21} - c_{01})/c_{21} = 0,31$	Ladeira e Minette (1984a)
resistência à abrasão Los Angeles, Ira	$Ira = (a_{21} - a_{05/10})/a_{21} = 0,08$ $Ira = (a_{21} - a_{11})/a_{21} = 0,06$ $Ira = (a_{21} - a_{01})/a_{21} = 0,02$	Ladeira e Minette (1984a)
resistência ao impacto Treton Irt	$Irt = (t_{21} - t_{05/10})/t_{21} = 0,07$ $Irt = (t_{21} - t_{11})/t_{21} = 0,06$ $Irt = (t_{21} - t_{01})/t_{21} = 0,06$	Ladeira e Minette (1984a)
perdas de massa com etileno-glicol, Ieg	$Ieg = (eg_{05/10} - eg_{21})/eg_{05/10} = 0,88$ $Ieg = (eg_{11} - eg_{21})/eg_{21} = 0,80$ $Ieg = (eg_{01} - eg_{21})/eg_{21} = 0,65$	Ladeira e Minette (1984b)

### 13 ÍNDICES DE ALTERABILIDADE

Conforme observado anteriormente, a análise do comportamento dos quatro blocos, com base nos valores de perda de massa e na distribuição granulométrica, já permitiu uma previsão da alterabilidade destes materiais, embora de maneira qualitativa, apesar de estar baseada em dados numéricos. Os resultados de alguns dos ensaios de caracterização já deram indicação nesse sentido.

Decidiu-se que, para expressar a alterabilidade de tais materiais, se deveria lançar mão de um número que, resultando da combinação ou não dos diversos parâmetros, pudesse refletir de maneira objetiva o comportamento observado.

Optou-se, assim, por testar os índices propostos por FARJALLAT (1971) YOSHIDA (1972), BUZATTI (1975 e 1987) e, também, um índice baseado no próprio módulo de finura.

FARJALLAT (op.cit.) denominou índice de alterabilidade  $K\Delta t$  uma relação conveniente entre perdas por ciclagem e perdas por abrasão após ciclagem, conforme citado no item 5.6.

Os resultados obtidos na aplicação destes índices encontram-se nas Tabelas 12 a 15 para os blocos 01, 05/10, 11 e 21 respectivamente. A evolução dos diversos índices presentes nestas Tabelas encontra-se nas Figuras de 35 a 44.

A Figura 35 apresenta a evolução do índice  $K\Delta t$  em função do tempo (ciclo) para os quatro blocos, onde se notam os valores referentes às amostras dos blocos 01 a 21 baixos, e distribuídos de maneira contínua, quase paralela à abcissa. Tal comportamento

TABELA 12 - Índices de alterabilidade calculados a partir de resultados de ensaios de ciclagem e abrasão "Los Angeles" para o bloco 01.

CICLO	$K_{\Delta t}$	Rf (%)	$\Delta R$ (%)	IDE (%)	MFc	IMFc	MFa	IMFa	MFt	IMFt
0				11,0						
3	0,009	88,4	1,80	13,0	8,9	0,00	8,1	0,09	8,5	0,06
6	0,015	87,3	3,00	16,0	8,9	0,00	7,9	0,11	8,4	0,07
9	0,008	88,5	1,70	13,0	8,9	0,00	8,1	0,10	8,5	0,06
12	0,009	88,3	1,90	9,0	8,9	0,00	8,1	0,09	8,5	0,06
15	0,009	88,3	1,90	5,0	8,9	0,00	8,4	0,09	8,7	0,03
18	0,016	87,1	3,20	13,0	8,9	0,00	8,0	0,11	8,5	0,06
24	0,015	88,3	1,90	12,0	8,9	0,00	8,0	0,11	8,5	0,06
30	0,016	88,1	2,10	14,0	8,9	0,00	8,0	0,10	8,5	0,06
36	0,011	88,1	2,10	10,0	8,9	0,00	8,1	0,10	8,5	0,06
42	0,018	86,8	3,59	15,0	8,9	0,00	8,0	0,11	8,4	0,07
48	0,017	86,9	3,40	11,0	8,9	0,00	8,1	0,10	8,5	0,06
54	0,017	86,9	3,49	11,0	8,9	0,00	8,1	0,10	8,5	0,06

### FÓRMULAS

$$K_{\Delta t} = 1 - (200 - F / 200) / I = 1 - ((200 - (P_5 + P_1)) / (200 - P_0))$$

$$R_f = (100 - P_1 * 100 - P_5) / 100$$

$$\Delta R = [((100 - P_0) - R_f) / (100 - P_0)] * 100 = [(R_i - R_f) / R_i] * 100$$

$$IDE = [(D_{64} + D_{50} + D_{38}) / 3] / 58,3 * 100$$

$$IMFc = (MFE - MFcx) / MFE$$

$$IMFa = (MFE - MFax) / MFE$$

$$IMFt = (MFE - MFtx) / MFE$$

TABELA 13 - Índices de alterabilidade calculados a partir de resultados de ensaios de ciclagem e abrasão "Los Angeles" para o bloco 5/10.

CICLO	K <sub>A</sub> t	Rf (%)	Δ R (%)	IDE (%)	MFc	IMFc	MFa	IMFa	MFt	IMFt
0				15,0						
2	0,108	66,0	22,40	46,0	8,2	0,00	6,4	0,29	7,3	0,19
4	0,552	15,8	81,36	77,0	8,2	0,08	5,0	0,45	6,6	0,27
6	0,542	17,3	79,68	76,0	6,9	0,24	5,5	0,38	6,2	0,31
8	0,732	6,1	92,83	81,0	6,2	0,31	5,8	0,35	6,0	0,33
10	0,749	5,1	93,99	86,0	6,4	0,28	4,8	0,47	5,6	0,38
12	0,802	3,3	96,07	92,0	4,2	0,54	6,5	0,28	5,3	0,41
14	0,719	6,7	92,12	80,0	4,7	0,48	6,5	0,27	5,6	0,38
16	0,755	5,1	93,97	84,0	4,4	0,51	5,4	0,40	4,9	0,46
18	0,870	1,4	98,40	94,0	4,3	0,52	5,0	0,44	4,7	0,48
20	0,796	3,5	95,86	87,0	4,6	0,49	4,9	0,46	4,7	0,48

### FÓRMULAS

$$K_A t = 1 - (200 - F / 200) / l = 1 - ((200 - (P_5 + P_1)) / (200 - P_0))$$

$$R_f = (100 - P_1 * 100 - P_5) / 100$$

$$\Delta R = [(100 - P_0) - R_f] / (100 - P_0) * 100 = [(R_i - R_f) / R_i] * 100$$

$$IDE = [(D_{64} + D_{50} + D_{38}) / 3] / 58,3 * 100$$

$$IMFc = (MFE - MFcx) / MFE$$

$$IMFa = (MFE - MFax) / MFE$$

$$IMFt = (MFE - MFtx) / MFE$$

TABELA 14 - Índices de alterabilidade calculados a partir de resultados de ensaios de ciclagem e abrasão "Los Angeles" para o bloco 11.

CICLO	K <sub>Δ t</sub>	Rf (%)	Δ R (%)	IDE (%)	MFc	IMFc	MFa	IMFa	MFt	IMFt
				16,0						
0										
3	0,061	74,9	12,87	45,0	8,9	0,00	6,7	0,26	7,8	0,13
6	0,143	60,0	30,20	50,0	8,9	0,00	5,8	0,35	7,4	0,18
9	0,238	46,3	46,21	67,0	8,7	0,02	5,4	0,40	7,0	0,22
12	0,291	39,9	53,60	59,0	8,6	0,03	5,3	0,41	7,0	0,22
15	0,287	41,4	51,92	51,0	8,4	0,05	5,8	0,35	7,1	0,21
18	0,431	22,3	74,07	72,0	8,1	0,09	4,0	0,55	6,1	0,32
21	0,379	30,9	64,10	57,0	8,1	0,09	5,3	0,41	6,7	0,26
24	0,406	27,5	68,01	63,0	8,1	0,09	5,0	0,45	6,5	0,28
27	0,528	18,8	78,14	60,0	7,2	0,19	6,0	0,33	6,6	0,27
30	0,583	14,1	83,61	76,0	7,3	0,18	5,1	0,43	6,2	0,31
33	0,568	15,1	82,45	79,0	7,1	0,21	4,5	0,50	5,8	0,36
36	0,602	13,1	84,83	67,0	7,1	0,20	5,2	0,41	6,2	0,31

### FÓRMULAS

$$K_{\Delta t} = 1 - (200 - F / 200) / I = 1 - ((200 - (P_5 + P_1)) / (200 - P_0))$$

$$R_f = (100 - P_1 * 100 - P_5) / 100$$

$$\Delta R = [((100 - P_0) - R_f) / (100 - P_0)] * 100 = [(R_i - R_f) / R_i] * 100$$

$$IDE = [(D_{64} + D_{50} + D_{38}) / 3] / 58,3 * 100$$

$$IMFc = (MFE - MFcx) / MFE$$

$$IMFa = (MFE - MFax) / MFE$$

$$IMFt = (MFE - MFtx) / MFE$$



TABELA 15 - Índices de alterabilidade calculados a partir de resultados de ensaios de ciclagem e abrasão "Los Angeles" para o bloco 21

CICLO	K <sub>Δ t</sub>	Rf (%)	Δ R (%)	IDE (%)	MFc	IMFc	MFa	IMFa	MFt	IMFt
0				8,0						
3	0,001	91,9	0,10	9,0	9	0,00	8,3	0,08	8,6	0,04
6	0,006	90,9	1,19	13,0	9	0,00	8,2	0,09	8,6	0,04
9	0,001	91,9	0,10	13,0	9	0,00	8,3	0,08	8,6	0,04
12	0,006	90,9	1,19	14,0	9	0,00	8,2	0,09	8,6	0,04
18	0,006	90,9	1,19	11,0	9	0,00	8,3	0,08	8,6	0,04
24	0,001	91,9	0,10	13,0	9	0,00	8,2	0,08	8,6	0,04
30	0,001	91,8	0,20	8,0	9	0,00	8,3	0,08	8,6	0,04
36	0,000	91,5	0,50	15,0	9	0,00	8,2	0,09	8,6	0,04
42	0,000	91,7	0,30	11,0	9	0,00	8,2	0,08	8,6	0,04
48	0,005	90,7	1,38	15,0	9	0,00	8,1	0,09	8,6	0,04
54	-0,005	92,3	0,38	14,0	9	0,00	8,3	0,08	8,6	0,04
60	-0,005	92,6	0,68	13,0	9	0,00	8,3	0,07	8,7	0,03

### FÓRMULAS

$$K_{\Delta t} = 1 - (200 - F) / 200 = 1 - ((200 - (P_5 + P_1)) / (200 - P_0))$$

$$R_f = (100 - P_1 * 100 - P_5) / 100$$

$$\Delta R = [(100 - P_0) - R_f] / (100 - P_0) * 100 = [(R_i - R_f) / R_i] * 100$$

$$IDE = [(D_{64} + D_{50} + D_{38}) / 3] / 58,3 * 100$$

$$IMFc = (MFE - MF_{Cx}) / MFE$$

$$IMFa = (MFE - MF_{Ax}) / MFE$$

$$IMFt = (MFE - MF_{tx}) / MFE$$

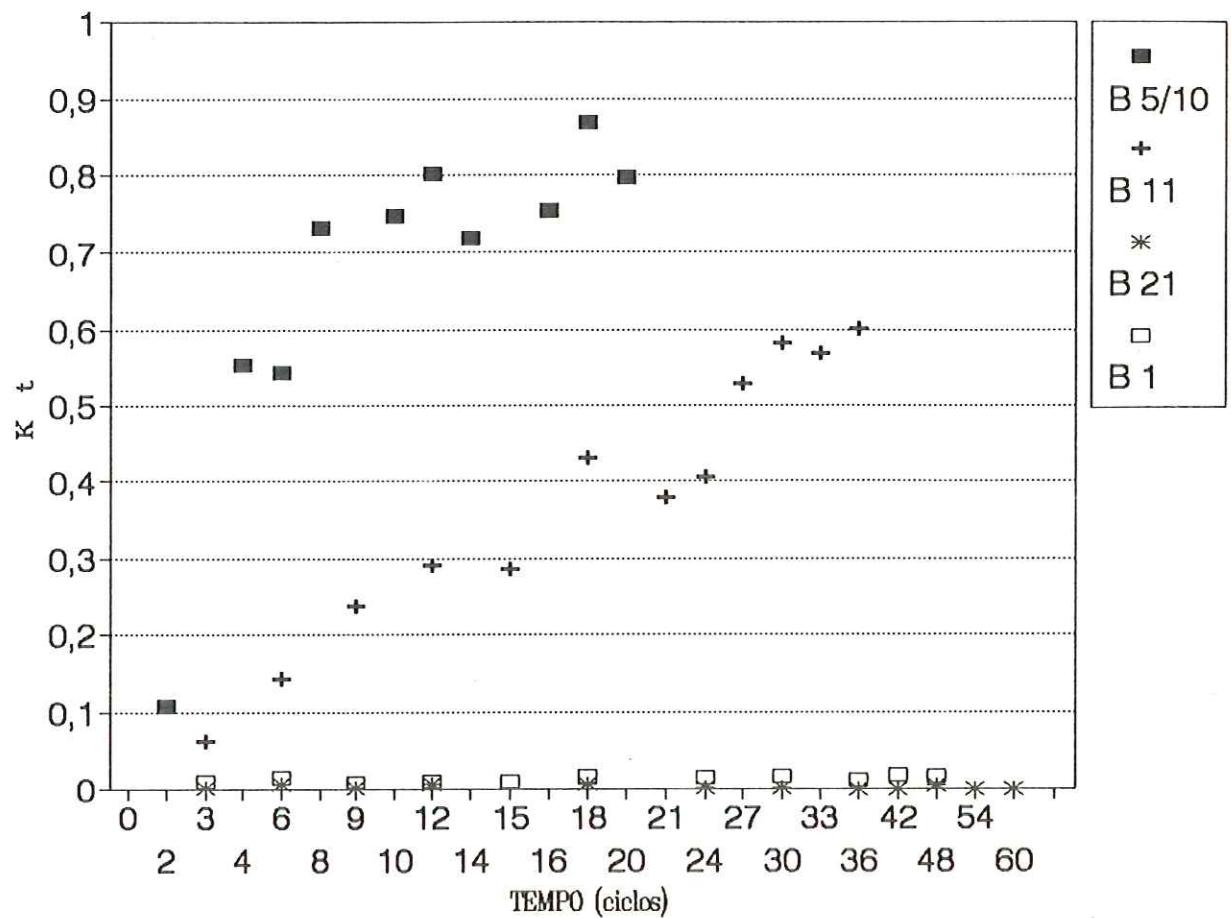


FIG. 35 Evolução do índice  $K_{\Delta t}$  com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto.

está coerente com o que foi observado a partir das perdas de massa e da distribuição granulométrica.

As amostras dos blocos 05/10 e 11 têm comportamento diferente, denotando uma evolução progressiva deste índice, mas de forma mais contínua para o bloco 11 que para o bloco 05/10.

Nota-se, ainda, que o bloco 05/10 quase atinge ao 20º ciclo o valor 0,9, portanto, muito próximo do valor 1 que significa material totalmente alterável. Notar que o bloco 11 atingiu um valor menor (0,6) num tempo que foi quase o dobro daquele considerado para o bloco 05/10.

Se se considerarem, além da evolução do resultado ao longo do tempo, os valores desse índice para o 18º ciclo (um dos três ciclos coincidentes para os quatro blocos), tem-se:  $K\Delta t_{21} > K\Delta t_{01} > K\Delta t_{11} > K\Delta t_{05/10}$ , significando alterabilidade crescente, nesta seqüência.

A Figura 36 apresenta a evolução do índice  $R_f$ , para os quatro blocos, onde se nota o mesmo comportamento verificado para os blocos 01 e 21, quanto ao índice  $K\Delta t$ , ou seja, distribuição constante dos valores ao longo do tempo e próximos aos valores de resistência inicial. A evolução dos valores de  $R_f$  para os blocos 05/10 e 11 são, porém, diferentes dos observados para os blocos 01 e 21. Nota-se, novamente nítida distinção entre os blocos 05/10 e 11 e destes dos blocos 01 e 21.

Se se considerarem, além da evolução dos resultados ao longo do tempo, os valores médios deste índice para o 18º ciclo, tem-se:  $R_f_{21} > R_f_{01} > R_f_{11} > R_f_{05/10}$ , significando alterabilidade crescente nesta seqüência.

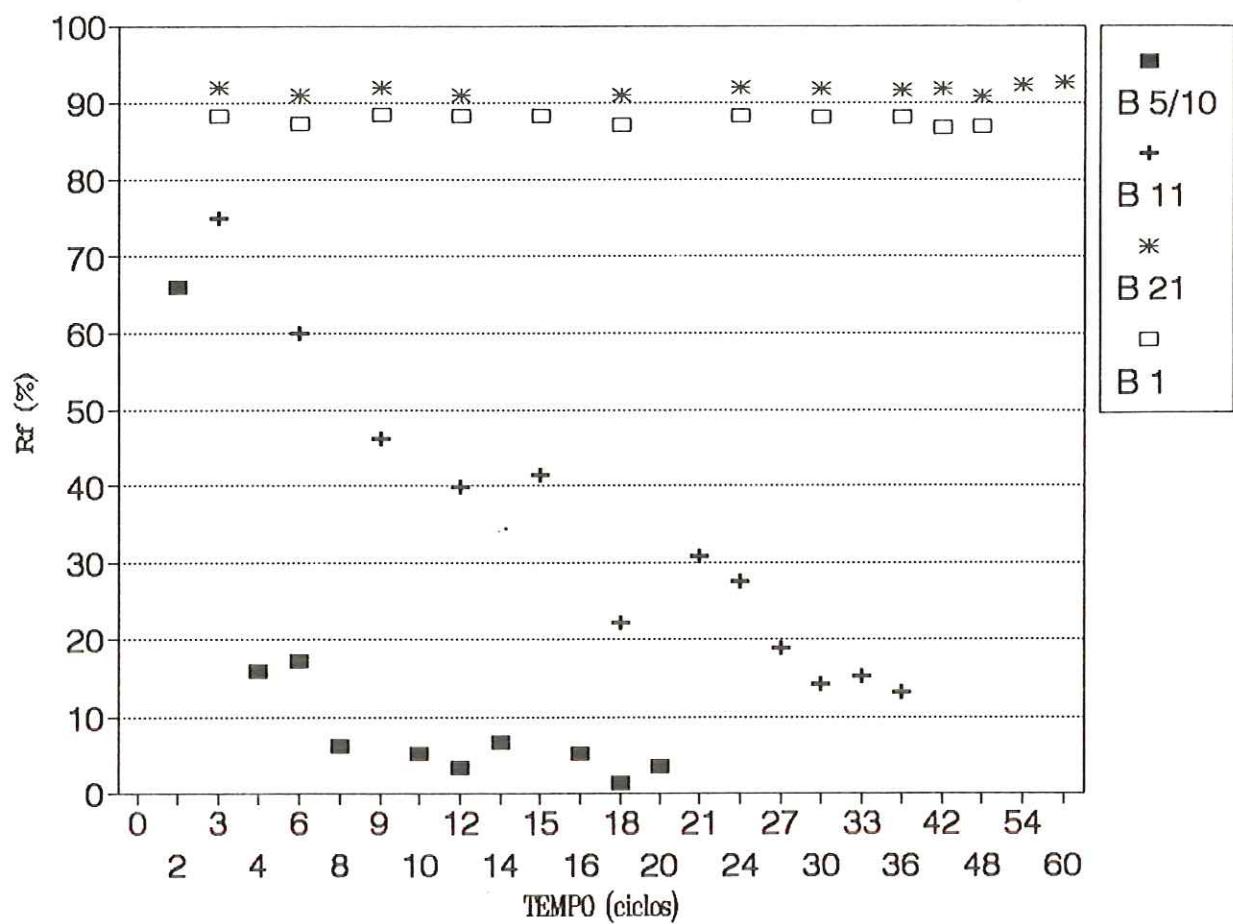


FIG. 36 Evolução do índice Rf com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto.

A Figura 37 apresenta a evolução do índice R, onde se nota comportamento semelhante ao observado para R<sub>f</sub>, com a mesma configuração, como era de se esperar (mas rebatidas para cima), e, também, por sua vez, semelhante à evolução do K<sub>Δt</sub>.

A Tabela 16 apresenta os valores de I<sub>D\_E</sub> para as amostras dos quatro blocos.

A Figura 38 apresenta a evolução dos valores de I<sub>D\_E</sub> para os quatro bloco em função do tempo.

Nota-se que o índice de degradação relativo à graduação E (I<sub>D\_E</sub>), proposto por BUZATTI, mostrou-se adequado para avaliar a degradação das amostras. Discriminou razoavelmente bem as amostras dos blocos 05/10 e 11 e esta dos blocos 01 e 21. Não foi sensível para discriminar amostras muito pouco alteráveis, pois os blocos 01 e 21 apresentaram o mesmo valor de I<sub>D\_E</sub>. Este fato não invalida sua eventual utilização com critério de avaliação da alterabilidade, pois os valores de outros índices para amostras destes blocos tiveram, também, mesmo comportamento.

As Figuras de 39 a 44 apresentam o comportamento dos índices granulométricos.

A Figura 39 apresenta a evolução do módulo de finura após ciclagem, onde se notam decréscimo progressivo de valores para as amostras dos blocos 05/10 e 11 e distribuição quase constantes para as amostras dos blocos 01 e 21. O mesmo comportamento dos valores de módulo de finura é observado para os de índice de módulo após ciclagem, como observado na Figura 40. Este comportamento era esperado por ser um índice relativo.

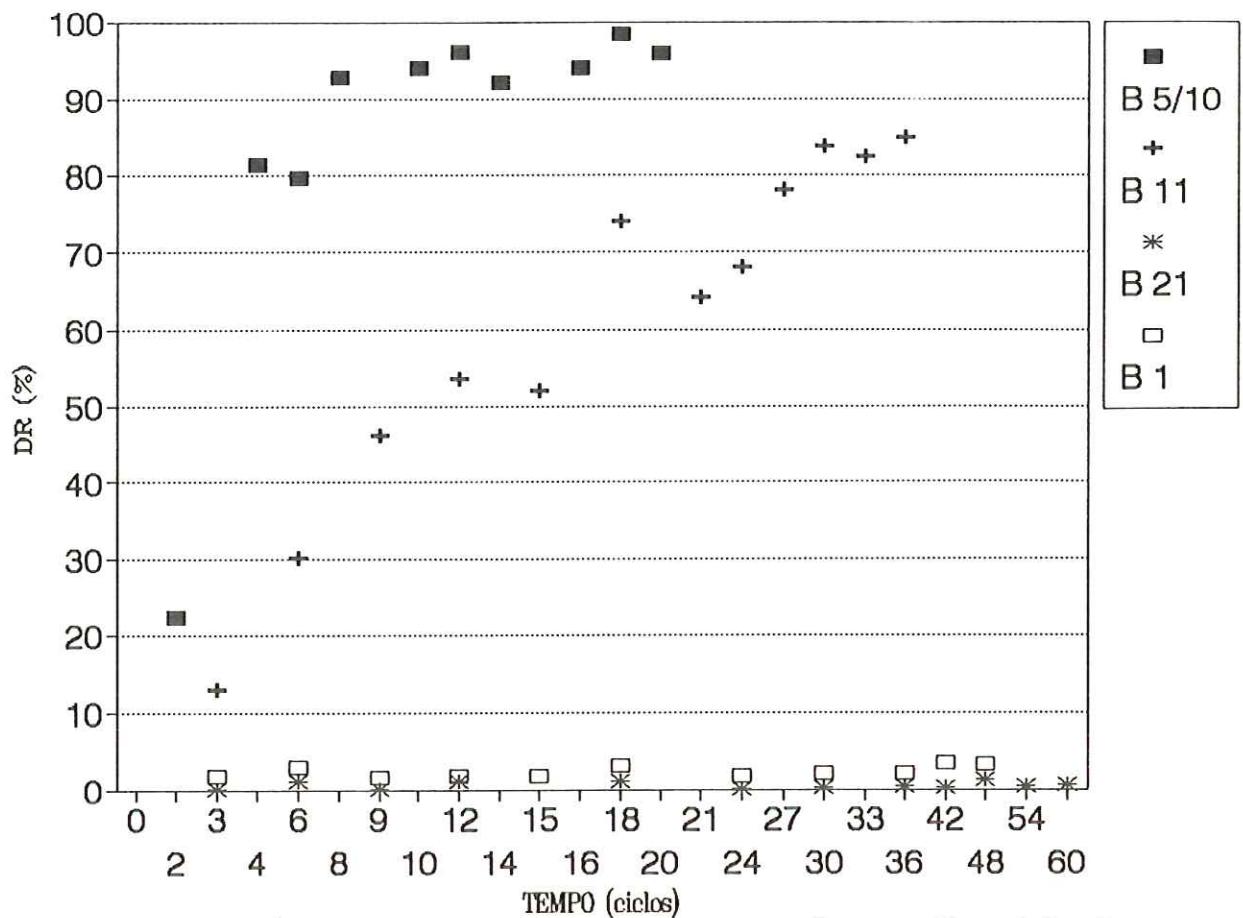


FIG. 37 Evolução do índice  $\Delta R$  com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto.

**TABELA 16 - Resultados de Índices de degradacao (ID) para as amostras dos quatro blocos de basalto****BLOCO 01**

CICLO	D1	D2	D3	ID	IDE
0	2,5	4,8	11,5	6,3	11
3	7,6	4,8	10,1	7,5	13
6	6,4	5,8	16,2	9,5	16
9	7,7	4,4	10,6	7,5	13
12	2,1	4,3	10,3	5,5	9
15	0,9	2,3	6,1	3,1	5
18	2,3	6,4	13,4	7,3	13
24	1,9	6,7	11,7	6,8	12
30	6,3	4,6	13,4	8,1	14
36	2,3	4,6	10,5	5,8	10
42	6,5	5,5	15,1	9,0	15
48	2,5	5,1	12,2	6,6	11
54	2,1	5,0	12,0	6,3	11
<b>MEDIA</b>	<b>3,9</b>	<b>4,9</b>	<b>11,8</b>	<b>6,9</b>	<b>12</b>

**BLOCO 6/10**

CICLO	D1	D2	D3	ID	IDE
0	3,1	7,3	15,5	8,7	15
2	13,6	21,5	45,2	26,8	46
4	15,6	37,4	81,5	44,8	77
6	19,4	37,8	75,0	44,1	76
8	19,5	38,4	84,0	47,3	81
10	20,3	42,6	87,4	50,1	86
12	25,0	47,0	89,5	53,8	92
14	19,7	38,0	82,0	46,6	80
16	19,3	40,2	88,0	49,2	84
18	25,0	45,9	94,1	55,0	94
20	20,6	42,2	90,0	50,9	87
<b>MEDIA</b>	<b>16,8</b>	<b>33,2</b>	<b>69,4</b>	<b>39,8</b>	<b>68</b>

**BLOCO 11**

CICLO	D1	D2	D3	ID	IDE
0	3,0	6,3	19,3	9,5	16
3	14,3	20,3	43,4	26,0	45
6	13,6	20,6	54,0	29,4	50
9	19,0	33,9	64,5	39,1	67
12	14,1	26,1	62,5	34,2	59
15	9,5	21,4	58,2	29,7	51
18	11,1	33,4	81,2	41,9	72
21	9,0	24,0	66,8	33,3	57
24	14,7	26,6	68,7	36,7	63
27	10,2	25,2	69,8	35,1	60
30	15,8	38,0	79,4	44,4	76
33	19,9	36,4	82,5	46,3	79
36	10,0	29,6	76,8	38,8	67
<b>MEDIA</b>	<b>12,6</b>	<b>26,3</b>	<b>63,6</b>	<b>34,2</b>	<b>59</b>

**BLOCO 21**

CICLO	D1	D2	D3	ID	IDE
0	2,0	3,9	8,7	4,9	8
3	1,2	3,5	10,6	5,1	9
6	7,2	6,0	9,8	7,6	13
9	2,0	10,9	10,6	7,8	13
12	2,7	8,5	13,3	8,2	14
18	1,9	4,5	12,1	6,2	11
24	2,3	5,1	14,4	7,3	13
30	1,4	3,4	9,7	4,8	8
36	2,2	5,1	18,5	8,6	15
42	2,1	5,7	11,3	6,4	11
48	1,4	7,3	17,9	8,8	15
54	4,7	6,5	13,8	8,3	14
60	1,8	10,3	11,2	7,7	13
<b>MEDIA</b>	<b>2,5</b>	<b>6,2</b>	<b>12,5</b>	<b>7,1</b>	<b>12</b>

**LEGENDA**

- D1 Afastamento em relacao a malha de 64 mm (%)  
D2 Afastamento em relacao a malha de 50 mm (%)  
D3 Afastamento em relacao a malha de 38 mm (%)  
ID Índice de degradacao da curva degradada (%)  
IDE Índice de degradacao da curva degradada em relacao ao ID da graduacao E (%)

**FORMULA**

$$\text{IDE} = (\text{ID}/58,3)100$$

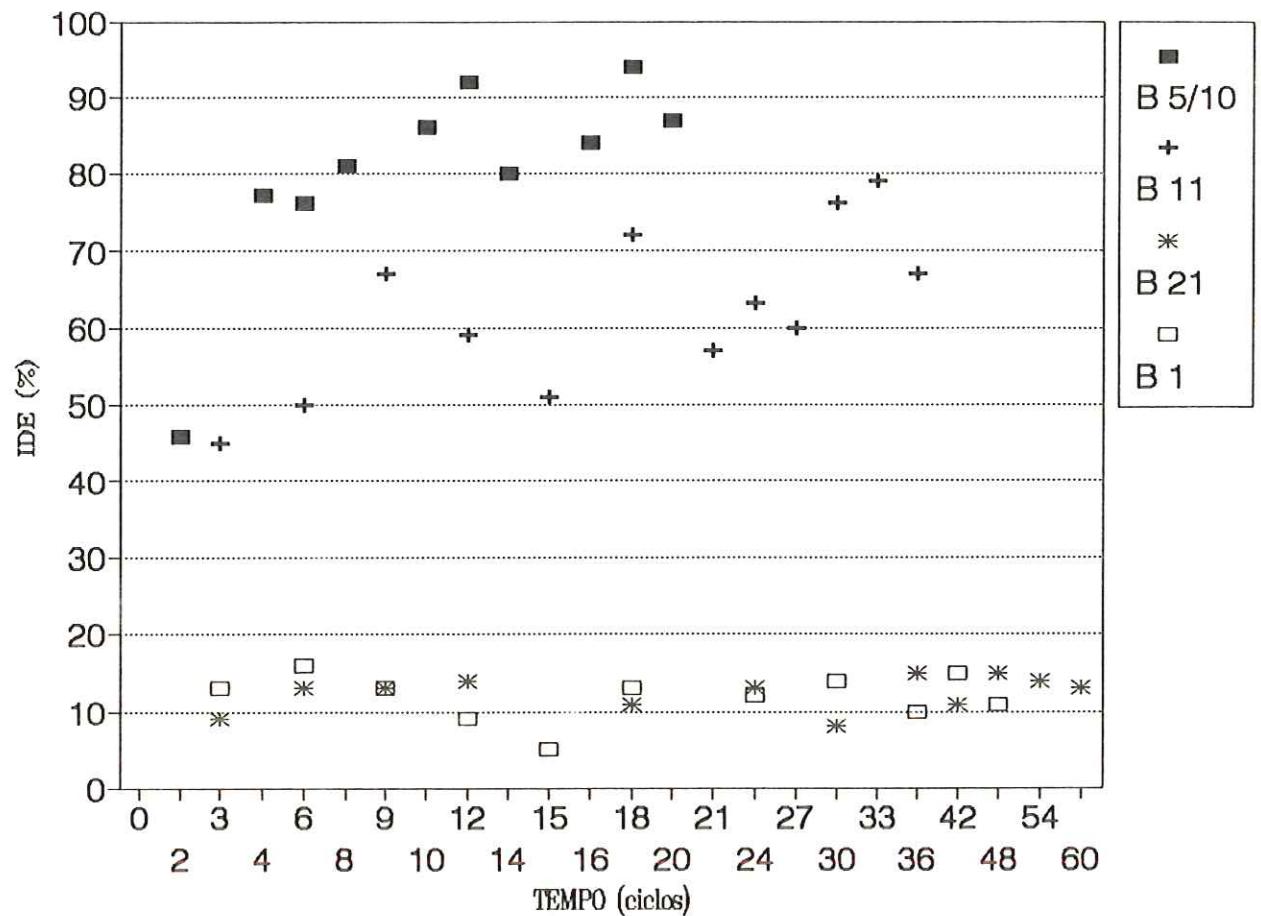


FIG. 38 Evolução do índice IDE com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto.

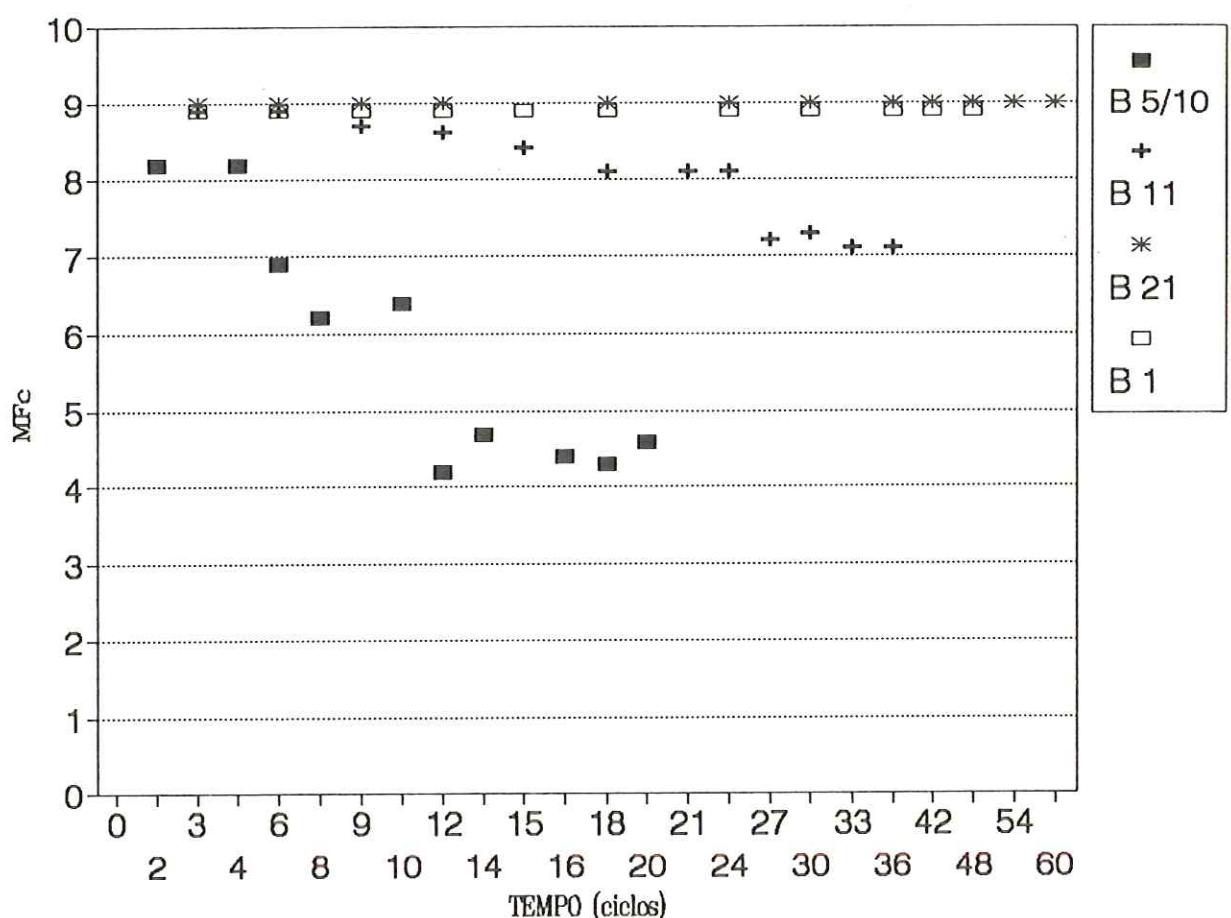


FIG. 39 Evolução do índice MFc com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto.

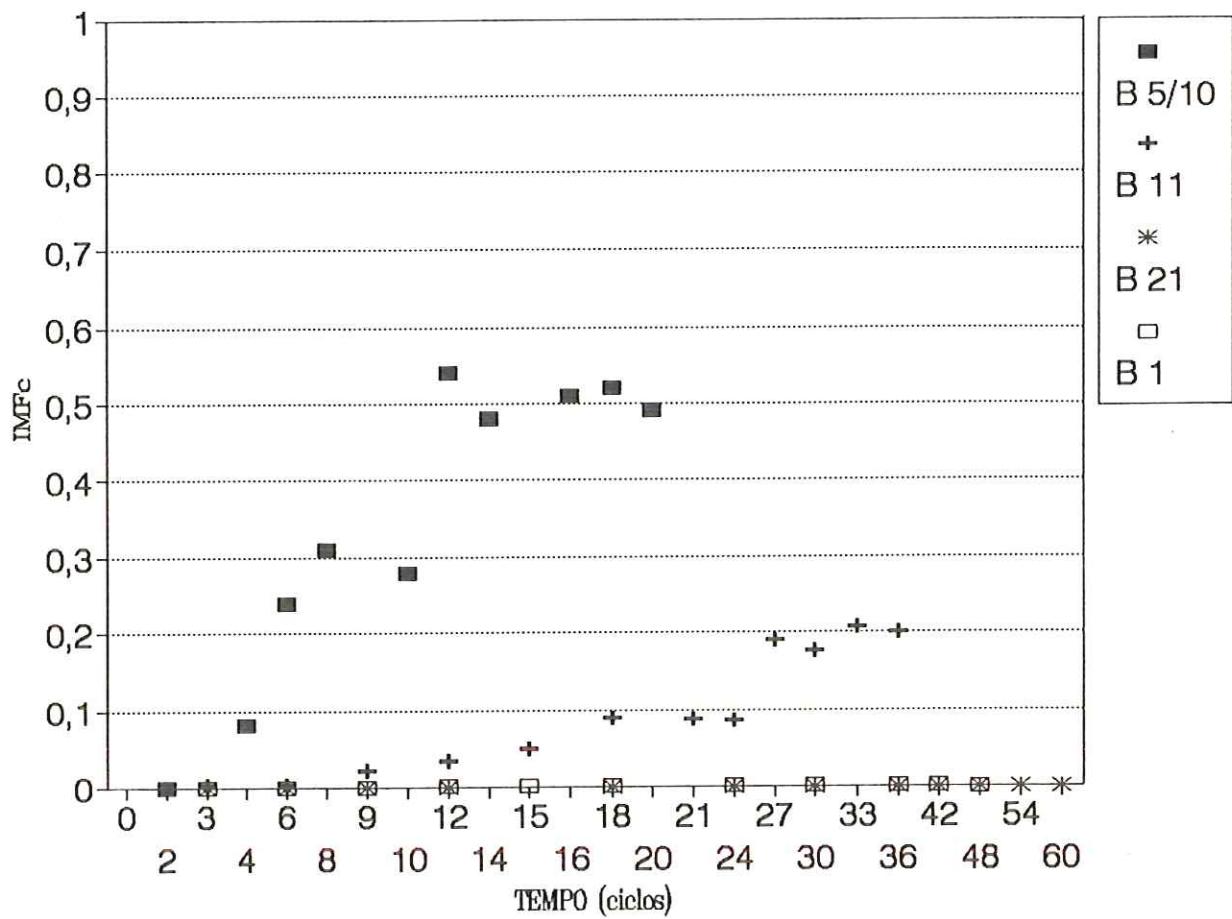


FIG. 40 Evolução do índice IMFc com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto.

As Figuras 41 e 42 apresentam a evolução dos valores do módulo de finura após abrasão e do índice de módulo de finura respectivo. Nota-se grande dispersão de valores, especialmente para amostras do bloco 05/10. Novamente as amostras dos blocos 01 e 21 apresentam distribuição de valores quase constante.

A dispersão dos valores após abrasão deve-se, provavelmente, às diferenças de resistência mecânica dos fragmentos constituintes de cada amostra. Isto já foi evidenciado anteriormente, pela dispersão dos valores de perdas por abrasão em relação à massa após ciclagem (P2), tal como ilustrado nas Figuras 19, 20, 21 e 22.

A distribuição dos valores médio de módulo de finura e do índice de módulo de finura está apresentada nas Figuras 43 e 44. Nota-se que a evolução dos valores se dá de maneira mais contínua, e que há melhoria na visualização da sua evolução.

A Figura 45 apresenta os valores dos índices de alterabilidade calculados para as amostras de todos os blocos correspondentes ao 18º ciclo, bem como os índices obtidos a partir dos resultados dos ensaios de caracterização para os blocos 01, 05/10 e 11 em relação ao bloco 21.

Foram considerados, para elaboração desta Figura, apenas os índices que se mostraram aplicáveis para discriminar a alterabilidade dos blocos e que também mostraram concordância entre si. Foram desprezados, portanto, os índices Id, Irc e Irt.

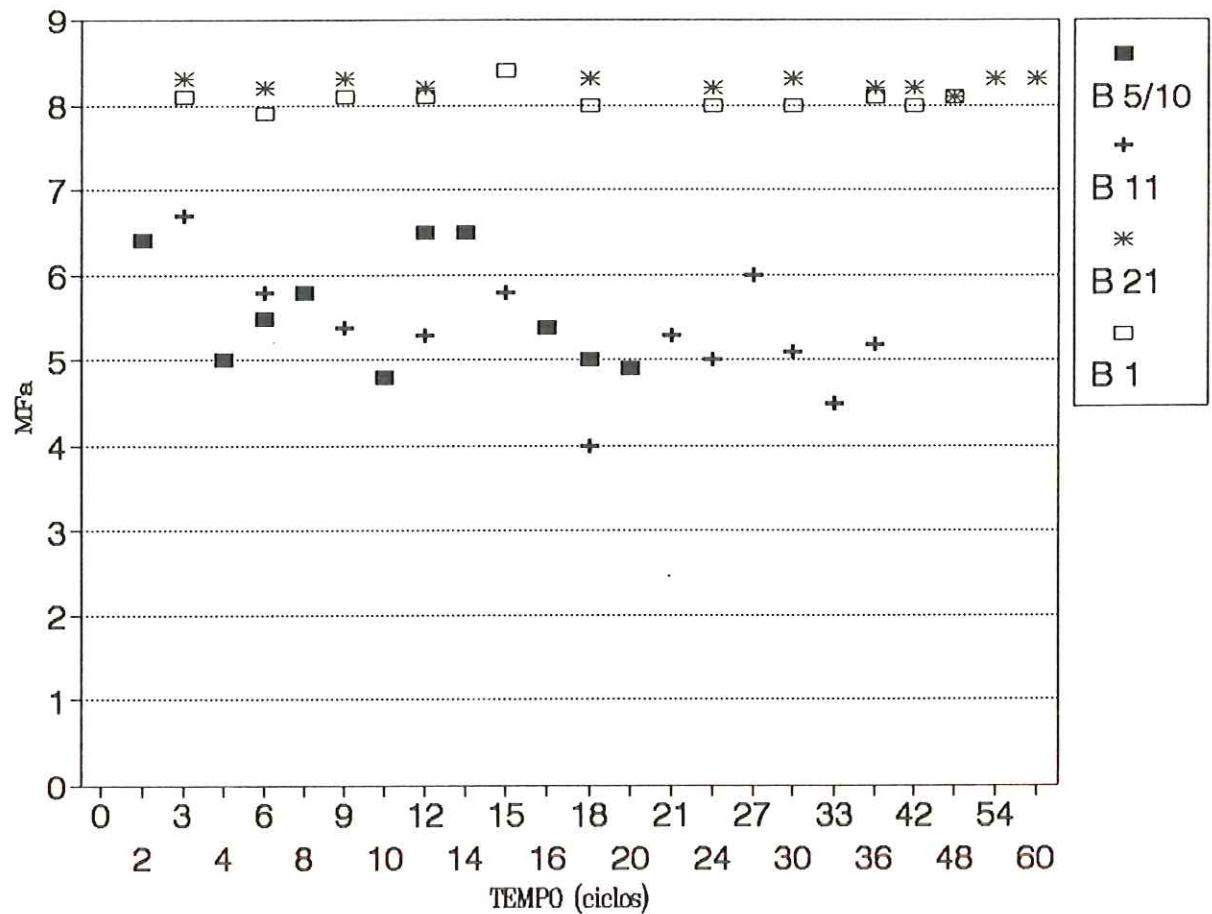


FIG. 41 Evolução do índice MFa com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto.

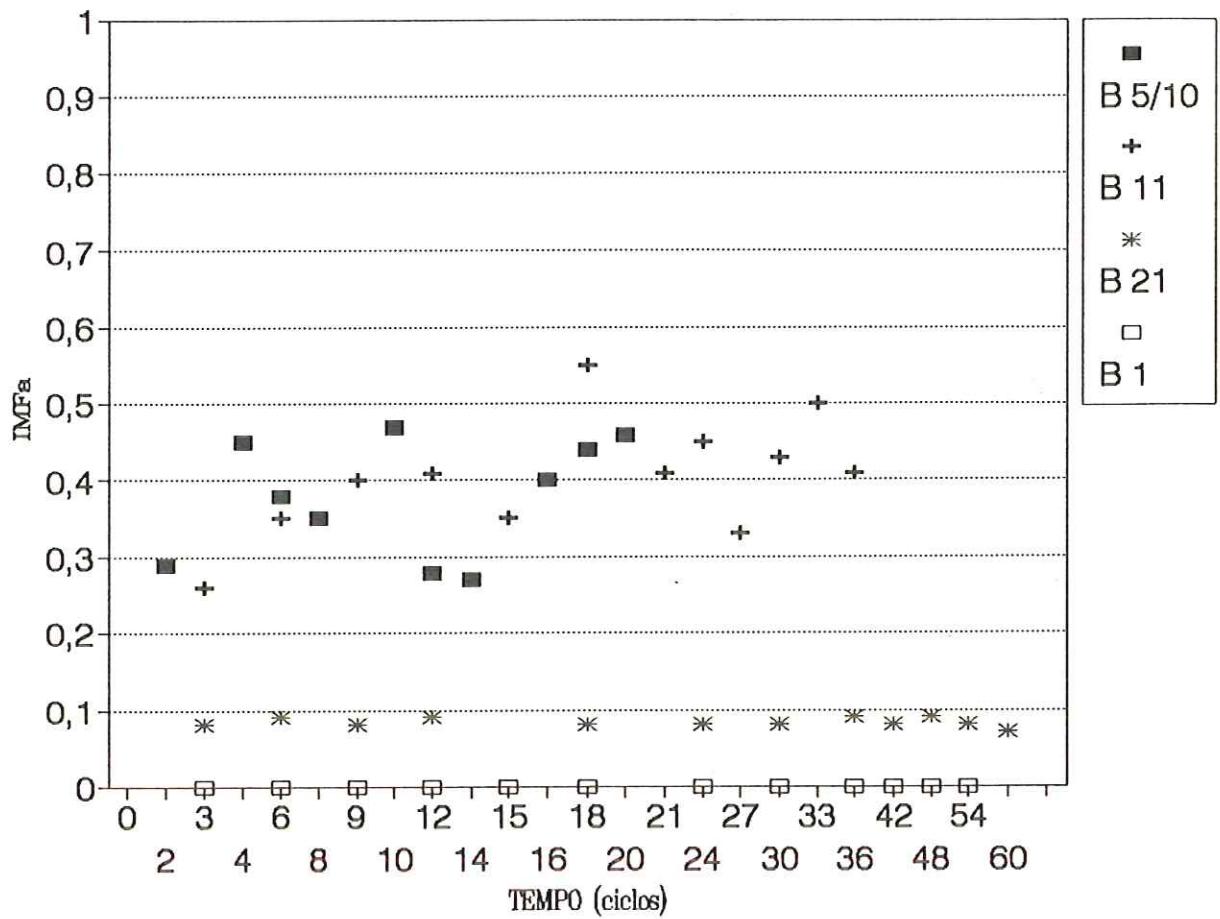


FIG. 42 Evolução do índice IMF<sub>a</sub> com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto.

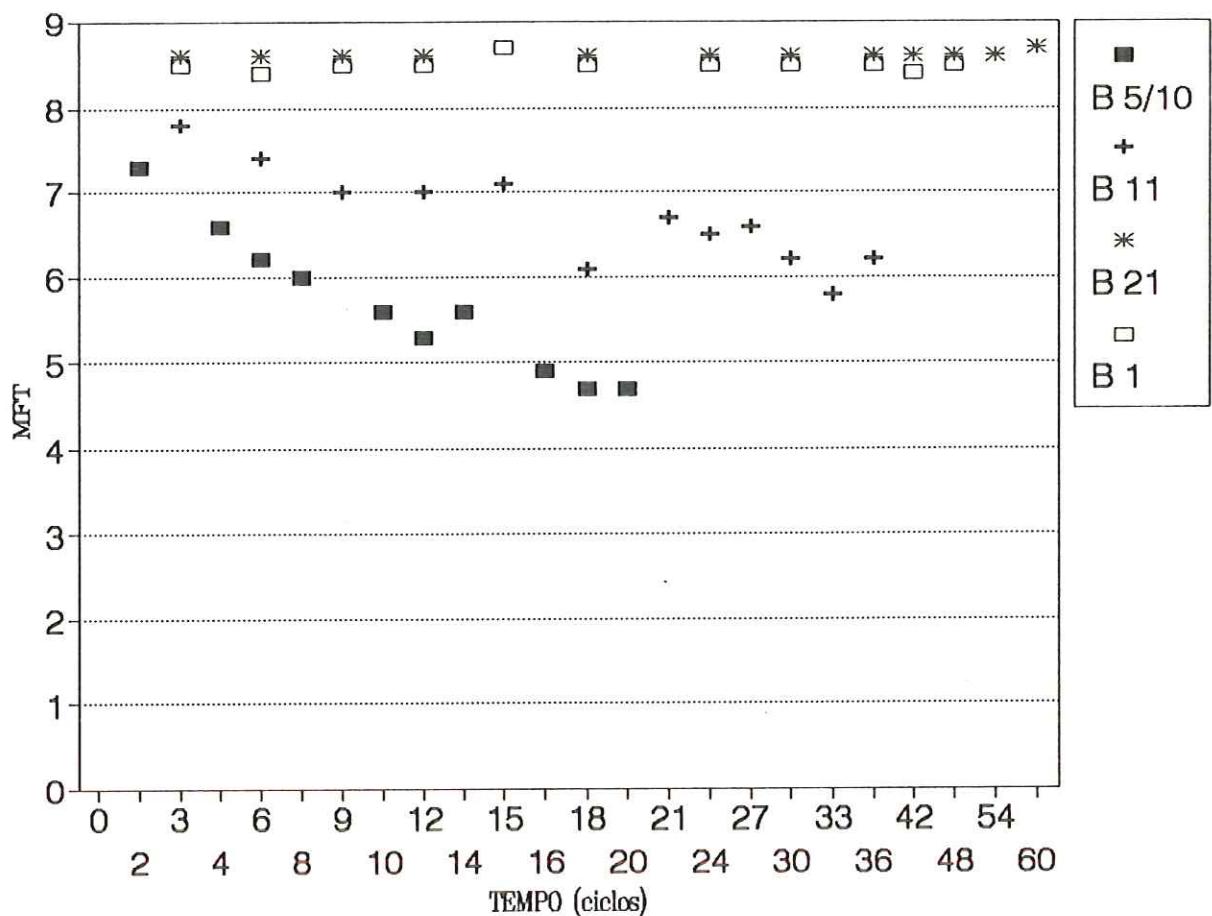


FIG. 43 Evolução do índice MFT com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto.

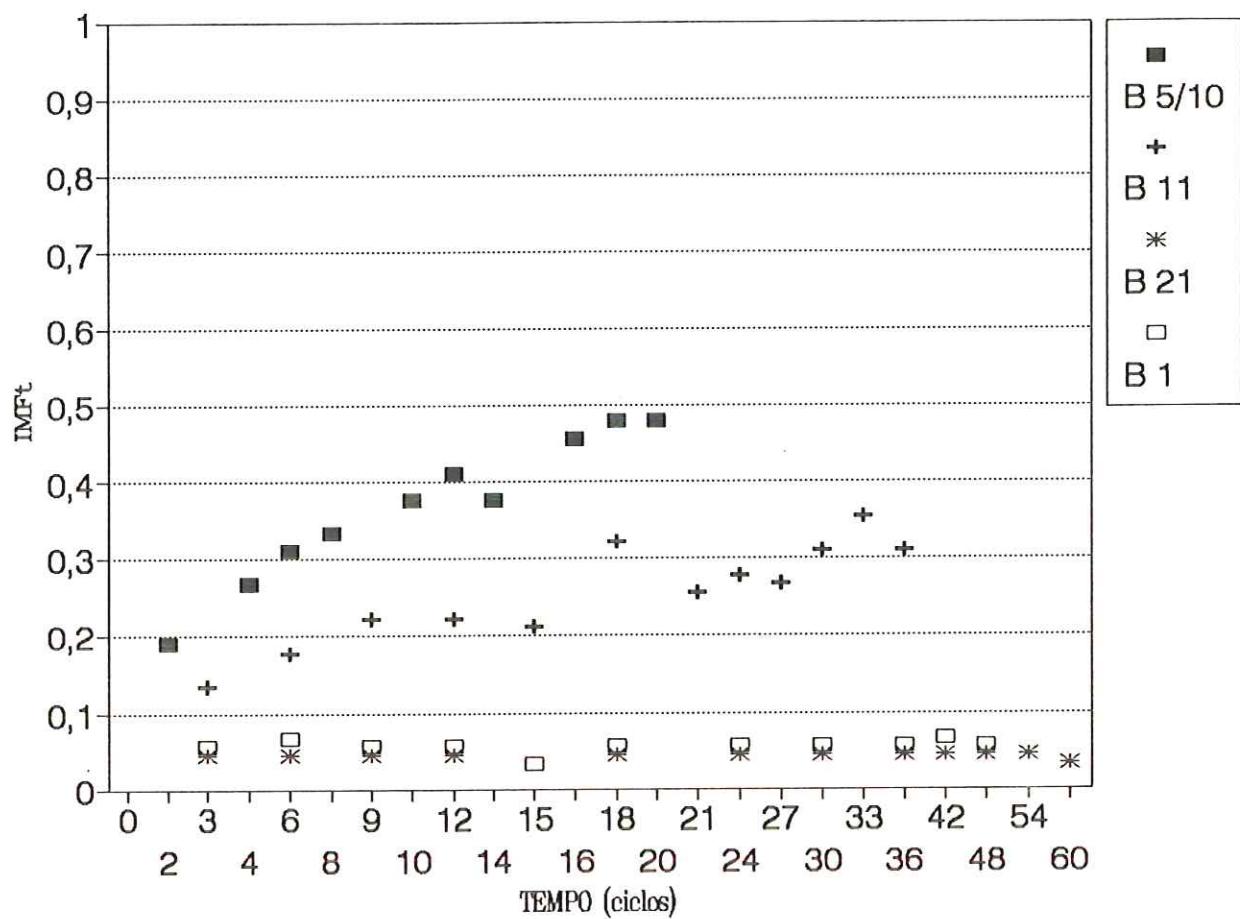


FIG. 44 Evolução do índice IMFt com o tempo (ciclos) para as amostras dos quatro blocos de basalto.

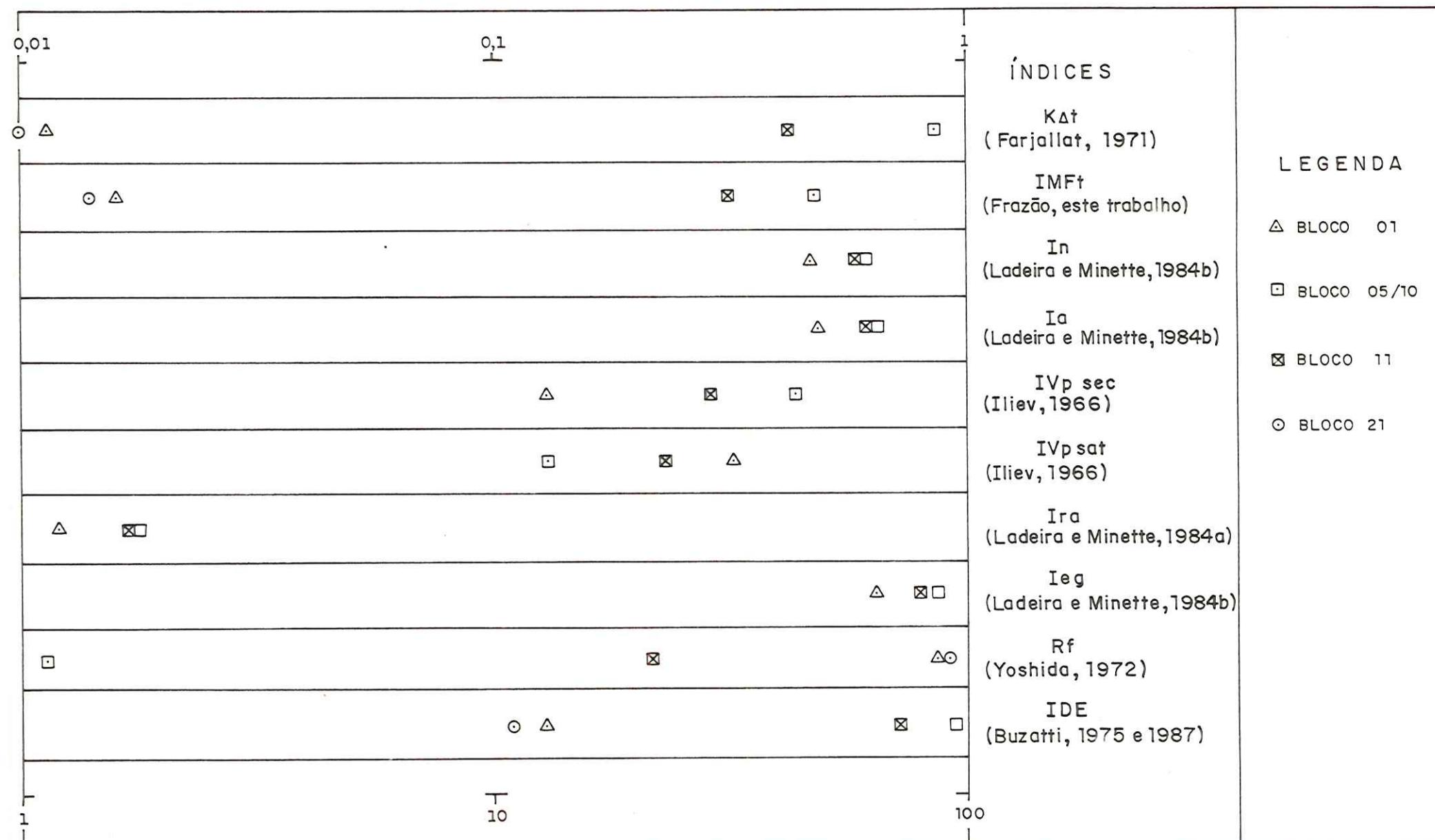


FIGURA 45 – Representação da distribuição dos valores de índices de alterabilidade para o 18º ciclo e índices obtidos a partir dos resultados da caracterização tecnológica.

## 14 CONCLUSÕES

Os resultados alcançados neste estudo permitiram estabelecer a seguintes conclusões:

- a) as amostras dos quatro blocos de basaltos foram satisfatoriamente discriminados pelos valores médios de porosidade aparente, absorção d'água e velocidade de propagação de ultra-som e apresentaram, também, concordância entre si.

Os resultados de abrasão "in natura" estiveram em concordância com os valores dessas propriedades, mas foram menos discriminatórios para as amostras dos blocos 05/10 e 11.

Os resultados do ensaio de alteração por imersão em etileno-glicol também se mostraram eficazes para discriminação das amostras quanto a sua potencialidade à desagregação.

Os valores de compressão uniaxial e de massa específica aparente mostraram concordância apenas parcial com os valores das propriedades acima mencionadas, pois não discriminaram os blocos 05/10 e 11.

Os valores de impacto Treton não mostraram concordância com os resultados dos demais ensaios e não discriminaram as amostras ensaiadas.

A adoção de valores médios para a análise da qualidade tecnológica dos basaltos estudados requer, entretanto, atenção para com a representatividade estatística quanto ao número de amostras a ensaiar.

- ✓ b) os índices de alteração propostos por alguns autores, e que foram aplicados a partir dos resultados dos ensaios de caracterização tecnológica, mostraram-se adequados para discriminar as características físicas e físico-mecânicas das amostras.

Os índices aqui referidos são aqueles calculados a partir dos valores das propriedades que mostraram concordância entre si.

Os resultados de abrasão "Los Angeles" aplicados na forma de índices melhoraram sua eficácia na discriminação das características dos blocos.

- ✓ c) os ensaios de alteração tanto por etileno-glicol como por saturação/secagem mostraram-se adequados para testar a alterabilidade dos basaltos.

- ✓ d) as características petrográficas dos basaltos estudados são muito semelhantes e, portanto, não foram distintivas para explicar os comportamentos diversos. Apenas o bloco 21 apresentou características mais diferenciadas, porém, apenas quanto ao teor de argilomineral (três vezes menor que o dos outros blocos) e à estrutura (compacta).

- ✓ e) a conjugação de um parâmetro mecânico, do tipo abrasão "Los Angeles" aos ensaios de alteração por saturação/secagem, mostrou-se adequada para revelar a alterabilidade dos basaltos. A conjugação desses parâmetros com ensaios de alteração por outros processos parece ser também aplicável e deve permitir alcançar resultado semelhante.

Algumas amostras foram mais sensíveis ao ensaio de alteração que outras; é o caso do bloco 05/10. Outras só apresentaram maior desagregação após o ensaio de abrasão após a ciclagem; é o caso das do bloco 11. A julgar pelo comportamento das distribuições de perdas de massa das amostras desses blocos, a conjugação de abrasão "Los Angeles" ao ensaio de alteração permitiu melhor quantificar a desagregabilidade destas.

- f) as distribuições granulométricas, para cada ciclo das amostras de todos os blocos, mostraram-se úteis para avaliar a sua desagregabilidade. O comportamento das curvas forneceram importantes informações complementares àquelas permitidas pelos resultados de perdas de massa, tanto na ciclagem como por abrasão "Los Angeles" após ciclagem;
- g) os índices de alterabilidade  $K\Delta t$ ,  $R_f$  e  $\Delta R$  mostraram-se úteis na avaliação da alterabilidade, pois discriminaram satisfatoriamente as amostras quanto a esta propriedade;
- h) o índice de alterabilidade testado pelo autor, cuja base é a relação entre módulo de finura inicial e aquele correspondente a cada ciclo, permitiu avaliar com nitidez a alterabilidade dos basaltos, do ponto de vista da granulometria do material desagregado nos ensaios. Aliás, os próprios valores de módulo de finura, calculados para a granulometria do material correspondente a cada ciclo, permitiram visualizar a desagregação das amostras;

- ✓ i) os índices  $K\Delta t$ ,  $Rf$ ,  $\Delta R$  e  $IMFt$  mostraram concordância entre si e indicam ser (qualquer um deles) aplicáveis à avaliação da desagregabilidade por processos de alteração.

Estes índices mostraram concordância com os resultados da maioria dos ensaios de caracterização tecnológica, a saber: porosidade aparente, absorção d'água, abrasão "Los Angeles", velocidade de propagação de ultra-som e perdas de massa por ação do etileno-glicol. Estes índices mostraram concordância também com os propostos por outros autores, calculados com base nos valores das propriedades, já citadas, obtidos na caracterização tecnológica.

- ✓ j) a maioria dos ensaios de caracterização e os critérios testados a partir dos resultados da conjugação dos ensaios de alteração conjugados à abrasão "Los Angeles" permitiram discriminar a alterabilidade dos basaltos e formular uma seqüência relativa de sua alterabilidade. A seqüência de alterabilidade crescente obtida por estes critérios, é:  
"Bloco 21"/"Bloco 01"/"Bloco 11"/"Bloco 05/10".

## CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Os resultados alcançados neste estudo, apesar da utilização de critérios diversos, mostraram eficácia para a avaliação da alterabilidade de basaltos estudados. Estudos complementares, contudo, devem ser executados para verificação da universalidade dos resultados e da possibilidade de se adotar procedimento semelhante como rotina laboratorial. Deve-se acrescentar, ainda, que investigações devem ser feitas sobre outros tipos litológicos para alcançar a finalidade de se constituir em procedimento rotineiro, a depender obviamente, da reprodutibilidade dos resultados com novos tipos de materiais.

Considerando que a grande expectativa é a validade dos resultados (particularmente dos índices testados) para a previsão do comportamento dos materiais em serviço, há necessidade de efetuar ensaios de campo, nas condições intempéricas da região onde os materiais são utilizados. Tais requisitos são particularmente importantes quando o material for usado na condição sem ligante, tal como em enrocamentos e em lastro de ferrovias.

Nos casos dos ensaios de campo, é aconselhável que as amostras sejam preparadas na mesma granulometria que aquelas a serem utilizadas em ensaios de laboratório. A definição do intervalo de tempo, em que as observações serão efetuadas, será obtida por inspeções visuais periódicas, de preferência diárias, com atenção às eventuais modificações dos aspecto morfológicos e à produção de material pulverulento.

Outra alternativa é a observação do comportamento em serviço dos materiais. No caso dos materiais estudados, foi

adorado lançar os materiais correspondentes aos blocos 05/10 e 11 no corpo do enrocamento e os referentes aos blocos 01 e 21 como camada externa de proteção. As observações, megascópicas, revelam, hoje, comportamento adequado do enrocamento. Observações diretas estavam previstas para serem efetuadas através de uma "gaiola" de metal a ser inserida no enrocamento durante sua construção. Dificuldades no processo construtivo e na compatibilização com o cronograma da obra, entretanto, impediram sua concretização.

O ensaio de alteração a ser adotado em laboratório, a julgar pelos resultados obtidos neste estudo, pode ser do tipo saturação/secagem, uma vez que este processo foi eficaz na solicitação física e/ou físico-química das amostras. O ensaio com etileno-glicol parece também ser válido, pois conseguiu discriminar satisfatoriamente o comportamento das amostras quanto à alterabilidade. Para o caso do ensaio por saturação/secagem, a duração conveniente parece ser não-inferior a 20 ciclos, pois, somente as amostras do bloco 05/10 apresentaram desagregação quase total nesta duração. Ao 18º ciclo, aliás, foi possível uma análise comparativa entre todas as amostras.

Para o caso do ensaio com etileno-glicol, a duração prescrita na norma adotada parece ser suficiente, embora nada impeça de se experimentarem outras durações. ✓

Ensaios de alteração com uso de lixiviação em extratores Sohxlet, embora não tratados neste estudo, parecem (a partir de dados da literatura) ser também recomendáveis. Considerando, porém, que é conveniente operar com amostras de volume relativamente grande (caso se adotem as quantidades prescritas

para qualquer das graduações do ensaio "Los Angeles"), haverá necessidade de adoção de extratores de maiores volumes que os disponíveis no mercado. Deve-se, entretanto, definir previamente a duração deste ensaio, pois a duração de cada ciclo dependerá do volume a ser ocupado pela água no espaço deixado pelo material introduzido nos extratores.

A adoção de um ensaio mecânico conjugado ao ensaio de alteração parece ser uma conduta correta, e o ensaio de abrasão "Los Angeles" mostrou-se adequado para tal fim, apesar das limitações, que têm sido colocadas por alguns autores, sobre a eficácia do ensaio na previsão do desempenho, em serviço, de materiais testados por este método.

A opção de também analisar o comportamento através da distribuição granulométrica parece ser conveniente. O comportamento dos materiais, do ponto de vista granulométrico, permitiu, aliás, subsidiar a decisão pelo seu uso como filtro de transição e drenos na UHE de Três Irmãos.

Crê-se que há possibilidade de adotar, para fins rotineiros, com provável sucesso, a metodologia utilizada neste estudo. Neste sentido, apresenta-se a seguir uma tentativa de padronização de procedimento para este fim, bem como critérios para interpretação dos resultados. Ao final, sugere-se uma tabela para apresentação dos resultados dos ensaios, incluindo, como exemplo, três amostras ensaiadas para clientes do IPT.

## MÉTODO DE ENSAIO (SUGESTÃO)

**TÍTULO:** Ensaio de alteração de agregados conjugado a ensaio de abrasão "Los Angeles" e à análise granulométrica.

### 1 ESCOPO

Este método prescreve os procedimentos para ensaio de alteração conjugado a ensaio de abrasão "Los Angeles" e à análise granulométrica.

Nota: O ensaio de alteração poderá ser executado por ciclos sucessivos de saturação em água e secagem em estufa, ou por imersão em etileno-glicol.

### 2 NORMAS COMPLEMENTARES

Para a aplicação desta norma, é necessário consultar os seguintes documentos:

- NBR 7216 - Amostragem de agregados
- NBR 9941 - Redução de amostras de campo para ensaio de laboratório
- NBR 12696 - Agregado - Comportamento mediante ciclagem artificial água-estufa
- NBR 12697 - Agregados - Avaliação do comportamento mediante ciclagem acelerada com etileno-glicol
- NBR 6465 - Agregados - Determinação da abrasão "Los Angeles"
- NBR 7217 - Agregados - Determinação da composição granulométrica
- NBR 5734 - Peneiras para ensaio

### 3 MATERIAIS E APARELHAGENS

Para execução neste método são necessários os seguintes materiais e aparelhagens:

- a) bandejas de alumínio ou de material não-oxidável de 40 x 20 x 10 cm;
- b) jogo de peneiras, conforme NBR 5734;
- c) estufa capaz de manter temperatura em  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , de preferência ventilada;
- d) balança com capacidade para 10 kg e precisão de 0,01 g;
- e) etileno-glicol P.A.

### 4 AMOSTRAGEM

Para coleta de amostras em pedreiras, ou no campo, proceder de acordo com a norma NBR 7216.

Para redução das amostras para os ensaios, proceder de acordo com a norma NBR 9941.

Para preparação das amostras para ensaios de abrasão "Los Angeles", proceder de acordo com item 5 da norma NBR 6465.

As amostras devem ser preparadas em duplicata, na graduação escolhida do ensaio de abrasão "Los Angeles".

### 5 ENSAIOS

Os ensaios devem seguir a seguinte seqüência:

- a) submeter uma das amostras a ensaio de abrasão, conforme a norma NBR 6465, "in natura";

- b) executar análise granulométrica e calcular módulo de finura, conforme norma NBR 7217, do material submetido a ensaio de abrasão "Los Angeles";
- c) submeter a outra amostra a ensaio de alteração, conforme texto-base 18:02:19-002 ou conforme 18:02:19-003.
- d) executar o procedimento descrito na alínea a);
- e) executar o procedimento descrito na alínea b).

## 6 RESULTADOS

Introduzir na Tabela anexa os seguintes resultados:

- a) porcentagens retidas parciais acumuladas nas malhas da graduação de abrasão "Los Angeles" escolhida;
- b) porcentagens retidas parciais e retidas acumuladas, após abrasão da amostra "in natura" e após abrasão da amostra submetida a ensaio de alteração, bem como os respectivos módulos de finura;
- c) valor das perdas da amostra submetida ao ensaio de alteração;
- d) valor das perdas por abrasão "Los Angeles" das duas amostras, conforme NBR 6465;

NOTA: o valor das perdas pode também, ser obtido subtraindo de 100 a porcentagem retida acumulada na malha de abertura 1,7 mm.

- e) índice do módulo de finura (IMF) calculado pela expressão:

$$\text{IMF} = \frac{\text{MF}_X - \text{MF}_a}{\text{MF}_X} \quad (1)$$

onde:

$MF_x$  = módulo de finura da amostra na graduação escolhida;

$MF_a$  = módulo de finura após abrasão da amostra "in natura" ou da amostra submetida a ensaio de alteração.

- f) valor da resistência à abrasão "Los Angeles", para as duas amostras, subtraindo de 100 a porcentagem de perdas obtida (alínea d), ou considerar o valor da porcentagem retida acumulada na malha 1,7 mm;
- g) índice de resistência das amostras submetidas ao ensaio de alteração ( $IR_a$ ), calculado pela expressão:

$$IR_a = \frac{R_i - R_w}{R_i} \quad (2)$$

onde:

$R_i$  = resistência a abrasão "Los Angeles" da amostra "in natura";

$R_w$  = resistência a abrasão "Los Angeles" da amostra submetida ao ensaio de alteração.

- h) índice de alterabilidade  $R_f$ , calculado pela seguinte expressão:

$$R_f = \frac{(100 - P) R_w}{100} \quad (3)$$

onde:

100 = limite máximo de perdas;

P = perdas no ensaio de alteração;

$R_w$  = resistência à abrasão da amostra submetida a ensaio de alteração.

- i) índice de alterabilidade  $K\Delta t$ , calculado pela seguinte expressão:

$$K\Delta t = 1 - \frac{(200 - F)}{(200 - I)} \quad (4)$$

onde:

200 = soma dos limites máximos para perdas por alteração e por abrasão "Los Angeles";

I = soma das perdas por alteração e por abrasão "Los Angeles" da amostra "in natura";

F = soma das perdas por alteração e por abrasão "Los Angeles" da amostra submetida ao ensaio de alteração.

Nota: As perdas por alteração da amostra "in natura" são iguais a zero.

- j) índice de degradação (IDA) calculado pelas seguintes expressões:

$$1) \quad IDA = \frac{\sum i}{N} \quad (5)$$

onde:

IDA = índice de degradação" para a curva da graduação de abrasão "Los Angeles" escolhida;

i = porcentagens acumuladas que expressam a curva da graduação escolhida;

N = quantidade de peneiras que compõem a graduação escolhida.

$$2) \quad ID' = \frac{\sum \Delta i'}{N} \text{ e } ID'' = \frac{\sum \Delta i''}{N} \quad (6)$$

onde:

$ID'$  = índice de degradação para a curva da amostra "in natura" submetida a ensaio de abrasão;

$ID''$  = índice de degradação para a curva da amostra submetida a ensaio de abrasão após ensaio de alteração;

$\Delta i'$  = deslocamentos da curva da amostra submetida a abrasão "in natura" em relação à curva da graduação de abrasão "Los Angeles" escolhida;

$\Delta i''$  = deslocamentos da curva da amostra submetida a abrasão, após ensaio de alteração, em relação à curva da graduação de abrasão "Los Angeles" escolhida;

$N$  = quantidade de peneiras da graduação escolhida.

$$3) \quad ID'a = \frac{ID'}{IDA} \times 100 \text{ e } ID''a = \frac{ID''}{IDA} \times 100 \quad (7)$$

onde:

$ID'a$  = índice de degradação da amostra "in natura" submetida a abrasão "Los Angeles" em relação ao índice de degradação da curva da graduação escolhida;

$ID''a$  = índice de degradação da amostra submetida a abrasão, após ensaio de alteração, em

relação ao índice de degradação da curva da graduação escolhida.

## 7 INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

O estado de alteração da amostra, ou sua alterabilidade, pode ser avaliado pelos limites constantes do Quadro a seguir:

ÍNDICE	ESCALA 0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	
IMF (*)							
IR (*)							
KΔt (*)							
		0	20	40	60	80	100 (%)
ID'a (**)							
ID''a (**)							
Rf (***)							

(\*) Alterabilidade crescente: 0 a 1.

(\*\*) Alterabilidade crescente: 0 a 100.

(\*\*\*) Alterabilidade crescente: Rf a 0.

AMOSTRA: Material enrocamento ponte rodoviária.

PROCEDÊNCIA: não declarada.

NATUREZA DO MATERIAL: basalto compacto preto.

PENEIRAS abertura (mm)	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA							
	GRADUAÇÃO A		APÓS ABRASÃO INICIAL		PERDAS POR ALTERAÇÃO		APÓS ABRASÃO APÓS ENSAIO ALTERAÇÃO	
	%RETIDA	%ACUMUL.	%RETIDA	%ACUMUL.	%	%RETIDA	%ACUMUL.	
64								
50								
38*								
25	25,0	25	19,0	19,0			17,3	17,3
19*	25,0	50	20,6	39,6			22,9	40,2
12,5	25,0	75	17,3	56,9			17,1	57,3
9,5*	25,0	100	12,8	69,8			11,1	68,4
6,3	-		9,6	74,4			9,0	77,4
4,8*		100	3,4	82,7			3,8	81,1
2,4*		100	4,4	87,2			4,7	85,8
1,7	-		1,2	88,3			1,5	87,3
1,2*		100	0,5	88,8			0,6	87,8
0,6*		100	1,7	90,5			1,8	89,6
0,3*		100	1,0	91,5			1,1	90,7
0,15*		100	1,1	92,5			1,2	91,9
<0,15	-		7,5	100,0			8,1	100,0
TOTAL	100,0	750	100,0	-	-		-	-
MÓDULO DE FINURA	7,50(a)	-	6,43(b)	-	-		6,36(c)	
ÍNDICE DE MÓDULO DE FINURA	a - b IMF = ----- a	0,14		a - c IMF = ----- a			0,15	
PERDAS NO ENSAIO DE ALTERAÇÃO (%)				0,01(d)	-		-	
PERDAS POR ABRASÃO LOS ANGELES (%)	100 - % # 1,7	12 (e)		-	-		13 (f)	
RESISTÊNCIA A ABRASÃO LOS ANGELES (%)	R <sub>i</sub> = % # 1,7	88		-	-		-	
				R <sub>w</sub> = % # 1,7	87			
ÍNDICE DE RESISTÊNCIA				(R <sub>i</sub> - R <sub>w</sub> ) / R <sub>i</sub>	0,01			
R <sub>f</sub> (%)				(100 - d) R <sub>w</sub> / 100	87			
KΔt			1 - [200 - (d + f) / (200 - e)]		0,0			
ID'a			ID'a (Σ Δi' / N) / (Σ Δi / N) × 100		26,9			
ID'a			ID''a (Σ Δi'' / N) / (Σ Δi / N) × 100		26,7			

AMOSTRA: Material de correia transportadora.

PROCEDÊNCIA: Pedreira de Guararapes.

NATUREZA DO MATERIAL: basalto (mistura compacto/vesicular/brechóide).

PENEIRAS abertura (mm)	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA							
	GRADUAÇÃO B		APÓS ABRASÃO INICIAL		PERDAS POR ALTERAÇÃO		APÓS ABRASÃO APÓS ENSAIO ALTERAÇÃO	
	%RETIDA	%ACUMUL.	%RETIDA	%ACUMUL.	%	%RETIDA	%ACUMUL.	
64*								
50								
38*								
25								
19*								
12,5	50,0	50	22,2	22,0			23,6	23,6
9,5*	50,0	100	28,0	50,2			25,1	48,6
6,3		-	18,6	68,8			16,0	64,6
4,8*		100	7,1	75,9			6,9	71,5
2,4*		100	9,1	85,0			9,0	80,5
1,7		-	2,5	87,5			2,8	83,3
1,2*		100	1,2	88,7			0,9	84,2
0,6*		100	2,5	91,2			3,6	87,9
0,3*		100	1,6	92,8			1,9	89,8
0,15*		100	1,0	93,8			1,5	91,4
<0,15			6,2	100,0			8,6	100
TOTAL	100,0	700	100,0	-	-	100,0	-	
MÓDULO DE FINURA	7,00 (a)	-	5,78 (b)	-	-	-	5,54 (c)	
ÍNDICE DE MÓDULO DE FINURA	a - b IMF = ----- a	0,17		a - c IMF = ----- a			0,21	
PERDAS NO ENSAIO DE ALTERAÇÃO (%)				13,0 (d)	-	-	-	
PERDAS POR ABRASÃO LOS ANGELES (%)	100 - % # 1,7	13 (e)		-	-	-	17 (f)	
RESISTÊNCIA A ABRASÃO LOS ANGELES (%)	R <sub>i</sub> = % # 1,7	87		R <sub>w</sub> = % # 1,7	83		-	
ÍNDICE DE RESISTÊNCIA				(R <sub>i</sub> - R <sub>w</sub> ) / R <sub>i</sub>	0,05			
R <sub>f</sub> (%)				(100 - d) R <sub>w</sub> / 100	72,2			
K <sub>Δt</sub>			1 - [200 - (d + f) / (200 - e)]		0,07			
I <sub>Da</sub> (%)			I <sub>D'a</sub> ( $\sum \Delta i' / N$ ) / ( $\sum \Delta i / N$ ) x 100		51,9			
			I <sub>D''a</sub> ( $\sum \Delta i'' / N$ ) / ( $\sum \Delta i / N$ ) x 100		51,9			

AMOSTRA: Material de pilha de estoque.

PROCEDÊNCIA: Pedreira de Guararapes.

NATUREZA DO MATERIAL: basalto (mistura compacto/vesicular/brechóide).

PENEIRAS abertura (mm)	DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA							
	GRADUAÇÃO B		APÓS ABRASÃO INICIAL		PERDAS POR ALTERAÇÃO		APÓS ABRASÃO APÓS ENSAIO ALTERAÇÃO	
	%RETIDA	%ACUMUL.	%RETIDA	%ACUMUL.	%	%RETIDA	%ACUMUL.	
64*								
50								
38*								
25								
19								
12,5	50,0	50	20,7	20,7			11,3	11,3
9,5*	50,0	100	23,0	43,7			10,8	22,1
6,3		-	19,4	63,1			7,4	29,5
4,8*		100	7,7	70,8			3,2	32,8
2,4*		100	9,1	79,9			6,7	39,5
1,7		-	2,4	82,3			4,2	43,7
1,2*		100	0,8	83,1			1,8	45,4
0,6*		100	2,6	85,7			7,6	53,0
0,3*		100	1,2	86,9			6,4	59,4
0,15*		100	1,5	88,4			8,8	68,8
<0,15		-	11,6	100,0			31,8	100,0
TOTAL	100,0	700	100,0	-	-		-	-
MÓDULO DE FINURA	7,00 (a)	-	5,39 (b)	-	-		3,20 (c)	
ÍNDICE DE MÓDULO DE FINURA	a - b IMF = ----- a	0,23		IMF = ----- a	a - c a		0,54	
PERDAS NO ENSAIO DE ALTERAÇÃO (%)				39,4 (d)	-		-	
PERDAS POR ABRASÃO LOS ANGELES (%)	100 - % # 1,7	18 (e)		-	-		56 (f)	
RESISTÊNCIA A ABRASÃO LOS ANGELES (%)	R <sub>i</sub> = % # 1,7	82		-	-			
				R <sub>w</sub> = % # 1,7	44			
ÍNDICE DE RESISTÊNCIA				(R <sub>i</sub> - R <sub>w</sub> ) / R <sub>i</sub>	0,46			
R <sub>f</sub> (%)				(100 - d) R <sub>w</sub> / 100	26,7			
K <sub>Δt</sub>			1 - [200 - (d + f) / (200 - e)]		0,428			
ID <sub>a</sub> (%)			ID'a (Σ Δi' / N) / (Σ Δi / N) x 100		57,1			
			ID''a (Σ Δi'' / N) / (Σ Δi / N) x 100		77,7			

## REFERÊNCIAS

- AIRES BARROS, L. 1969. A análise modal e a definição de um índice de qualidade micropetrográfico. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Ciências Naturais*, n.12, 2<sup>a</sup> série, p. 105-166.
- AIRES BARROS, L. 1971. Alteração e alterabilidade de rochas ígneas. Lisboa: LNEC. 57p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. 1992. *Rochas para revestimento: análise petrográfica*. Rio de Janeiro. 2p. (NBR, 12 678)
- \_\_\_\_\_. 1978. *Determinação da resistência ao choque*. 3p. (MB, 964)
- \_\_\_\_\_. 1984. *Agregados: determinação da abrasão Los Angeles*. Rio de Janeiro. 6p. (NBR, 6 465)
- \_\_\_\_\_. 1987. *Agregados: determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro. 5p. (NBR, 7 217)
- \_\_\_\_\_. 1988. *Peneiras para ensaios; especificações*. Rio de Janeiro. (NBR, 5 734)
- BIENIAWSKI, Z.T. 1981. Suggested method for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. In: BROWN, E.T. *Rock characterization testing and monitoring: ISRM suggested methods*. London: Pergamon Press. p.11-116.
- BUZATTI, D.J. 1975. *Índice de degradação de agregados*. Belo Horizonte: Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais. (Publicação Técnica, n.10).
- BUZATTI, D.J. 1987. *Índice de abrasão Los Angeles e índice de degradação: análise comparativa para diversas naturezas de agregado*. Belo Horizonte: Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais. p.7-21. (Publicação Técnica, n.23).

C.N.S. INSTRUMENTS LTD. 1972. *Pundit manual for use with the portable ultrassonic non-destructive digital indicator tester.* s.l. 35 p.

CRUZ, P.T., NIEBLE, C.M. 1971. *Engineering properties of residual soils and granular rocks originated from basalts: Capivara Dam, Brazil.* São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 22p.il. (IPT. Publicação, 913).

DAY, H.L. 1962. A progress report on studies of degrading basalt aggregate bases. *Bulletin of the Highway Research Board,* n.344.

FARJALLAT, J.E.S. 1969. Observações sobre a desagregação do basalto compacto usado no enrocamento do aterro da ponte do rio Sucuriú. In: SEMANA PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA, 1, 1969, São Paulo. *Anais...* São Paulo: APGA. v.3, tema 3, 9p.il. (IPT. Publicação, 902).

FARJALLAT, J.E.S. 1971. *Estudos experimentais sobre degradação de rochas basálticas.* São Paulo. (Tese de doutoramento apres. no IGeociências/USP) (inédito).

FARJALLAT, J.E.S. 1972. Desagreabilidade de rochas e problemas relativos a sua aplicabilidade. In: SEMANA PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA, 4, 1972, São Paulo. *Anais...* São Paulo: APGA. p.19-53.il.

FARJALLAT, J.E.S. 1973. *Critério de avaliação da alterabilidade de rochas.* São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 31p.il. (IPT. Publicação, 925). (Trabalho apresentado ao 7. Simpósio de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro)

FARJALLAT, J.E.S. 1974. Physical problems of the degradation of basalts. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY; 2, 1974, São Paulo. *Proceedings...* São Paulo: ABGE/IAEG. v.3, p.207-229.

FARJALLAT, J.E.S., MONTEZZO NETO, V., RATTI, G. 1972. Relações entre desagregação de rochas basálticas e seu conteúdo em argilas expansivas. In: SEMANA PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA, 4, 1972, São Paulo. *Anais...* São Paulo: APGA. p.123-155.il.

FARJALLAT, J.E.S., OLIVEIRA, J.A.N. 1972. Experimental studies on the weatherability of the Capivara Dam basalts, Rio Paranapanema, Brazil. *Bulletin IAEG*, n.6, p.83-96.

FARJALLAT, J.E.S., et al. 1972. Alguns problemas de degradação dos basaltos da barragem de Capivara, rio Paranapanema. In: SEMANA PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA, 4, 1972, São Paulo. *Anais...* São Paulo: APGA. p.73-102.il.

FARRAN, J., THENOZ, B. 1965. L'alterabilité des roches, ses facteurs sa prévision. *Annales I.T.B.T.P.*, Paris, p.1534-1548.

FRANKLIN, J.A. et al. 1981. Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption and related properties and swelling and slake-durability index properties. In: BROWN, E.T. *Rock characterization testing and monitoring: ISRM suggested methods*. London: Pergamon Press. p.79-89.

FRAZÃO, E.B. 1981. Contribuição à metodologia para determinação da pressão de expansão em solos e rochas. São Paulo. (Dissertação de Mestrado apresentada ao IGeociências/USP). (inédito).

FRAZÃO, E.B. 1987. A importância das características tecnológicas da pedra para lastro ferroviário. *Solos e Rochas*, v.10, n.3, p. 11-20.

FRAZÃO, E.B., CARUSO, L.G. 1983. Síntese do conhecimento sobre alterabilidade de rochas basálticas como material de construção em algumas barragens da Bacia do Alto Paraná. In: SIMPÓSIO SOBRE A GEOTECNIA DA BACIA DO ALTO PARANÁ, 1983, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ABMS, ABGE, CBMR. p.21-33.

HAMROL, A. 1962. A quantitative classification of weathering and weatherability of rocks. Lisboa: LNEC 4p. (LNEC. Technical Paper, 192).

HIGHWAY RESEARCH BOARD. 1970. *Degradation of aggregates.* Washington. (Highway Research Board. Bulletin, 51).

ILIEV, I.G. 1966. An attempt to estimate the degree of weathering of intrusive rocks from their physico-mechanical properties. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS, 1, 1966, Lisboa. *Proceedings...* Lisboa. p.109-114.

LADEIRA, F.L., MINETTE, E. 1984a. A quantificação da alteração e da alterabilidade de rochas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, 1984, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: ABGE. v.3, p.351-358.

LADEIRA, F.L., MINETTE, E. 1984b. Índices físicos de alteração na quantificação da alterabilidade de rochas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 3, 1984, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: ABGE. v.3, p.359-366.

LOUGHNAN, F.C. 1969. *Chemical weathering of the silicate minerals.* New York: Elsevier. 154p.il.

MENDES, F. DE M; AIRES BARROS, L.; RODRIGUES, F.P. 1966. The use of modal analysis in the mechanical characterization of rock masses. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF ROCK MECHANICS, 1, 1966, Lisboa. *Proceedings...* Lisboa. p.217-223.

MORAIS REGO, L.F., SOUZA SANTOS, T.D. 1938. *Contribuição para o estudo dos granitos da Serra da Cantareira* São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. (IPT. Boletim, 18)

NIEBLE, C.M., CRUZ, P.T. 1970. *As interesting case of stability in a man made rock slope.* São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 18p.il. (IPT. Publicação, 912). (Trabalho apresentado ao 4.Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, São João, Porto Rico).

- PAES DE BARROS, F. 1972. Propriedades tecnológicos do material G.M. e sua utilização na barragem de Capivara. In: SEMANA PAULISTA DE GEOLOGIA APLICADA, 4, 1972, São Paulo. Anais... São Paulo: APGA. p.55-72.
- PICHLER, E. 1942. A petrologia e os ensaios tecnológicos de rochas. *Separata do Bol. Dep. Estradas de Rodagem*, São Paulo.
- ROCHA, M. 1971. *Mecânica das rochas*. Lisboa: LNEC.
- RUIZ, M.D. 1963. *Mecanismo de desagregação de rochas basálticas semi-alteradas*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 11p. il. (IPT Publicação, 696).
- RUMMEL, F., VANHEERDEN, W.H. 1981. Suggested methods for determining sound velocity. In: BROWN, E.T. *Rock characterization testing and monitoring: ISRM suggested methods*. London: Pergamon Press. p.105-110.
- SCHNEIDER, A.W., PIRES DA ROCHA, F.X. 1968. *Emprego de basaltos em pavimentação rodoviária*. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 43 p. (IPR. Publicação, 433).
- STRUILLOU, R. 1969. Prévision de l'altérabilité des matériaux employés en génie civil. In: COLOQUE DE GÉOTECHNIQUE, 1969, Toulouse. *Comptes Rendus...* Toulouse. p.35-46.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS. s.d. (CRD 148). *Method of testing for stone for expansive break down on soaking in ethylene glycol*. s.l.: Concrete Research Division.
- WEINERT, H.H. 1964. *Basic igneous rocks in road foundations*. Pretoria: CSIR. 47p. (CSIR - Research Report, 218) (Soil Mechanics Division Natural Institute for Road Research Bulletin, 5).
- WEINERT, H.H. 1968. Engineering petrology for roads in South Africa. *Engineering Geology*, v.2, n. 6,. p.363-375.
- WEST, T.R., JOHNSON, R.B., SMITH, N.M. 1970. *Tests for evaluating degradation of base coarse aggregates*. Washington, National Cooperative Highway Research Program. 92p. (Report 98).

YOSHIDA, R. 1972. *Contribuição ao conhecimento das características tecnológicas dos materiais rochosos.* São Paulo. 2v.il. (Tese de Doutoramento apres. no IGeociências/USP). (inédito).

**ANEXO**

Distribuições granulométricas das amostras dos blocos  
01, 11, 05/10 e 21 após ensaios de alteração e de  
abrasão "Los Angeles" após ensaios de alteração:

Tabelas 17 a 62.

TABELA 17

BLOCO 01 / CICLO 03

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	2469.0	24.6	24.6	24.6	1730.3	17.4	17.4	21.0	21.0
50	2499.3	24.9	49.6	49.6	2759.0	27.7	45.1	26.3	47.4
38	4980.1	49.7	99.3	99.3	4442.5	44.7	89.8	47.2	94.5
25	0.0	0.0	99.3	99.3	0.0	0.0	89.8	0.0	94.5
19	0.0	0.0	99.3	99.3	0.0	0.0	89.8	0.0	94.5
12.5	0.0	0.0	99.3	99.3	0.0	0.0	89.8	0.0	94.5
9.5	0.0	0.0	99.3	99.3	0.0	0.0	89.8	0.0	94.5
6.3	0.0	0.0	99.3	99.3	0.0	0.0	89.8	0.0	94.5
4.8	0.0	0.0	99.3	99.3	0.0	0.0	89.8	0.0	94.5
2.4	0.3	0.0	99.3	99.3	0.0	0.0	89.8	0.0	94.5
1.68	0.2	0.0	99.3	99.3	0.0	0.0	89.8	0.0	94.5
1.2	0.2	0.0	99.3	99.3	0.0	0.0	89.8	0.0	94.5
0.6	0.3	0.0	99.3	99.3	0.0	0.0	89.8	0.0	94.5
0.3	0.4	0.0	99.3	99.3	10.2	0.1	89.9	0.1	94.6
0.15	0.4	0.0	99.3	99.3	491.4	4.9	94.8	2.5	97.1
0.11	0.3	0.0	99.3	99.3	209.6	2.1	96.9	1.1	98.1
0.07	0.5	0.0	99.3	99.3	137.6	1.4	98.3	0.7	98.8
0.01	67.9	0.7	100.0	100.0	167.8	1.7	100.0	1.2	100.0
TOTAL	10018.9	100.0		9948.4	100.0		100.0		
M.F.			8.9			8.1		8.5	

TABELA 18

BLOCO 01 / CICLO 06

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	2506.0	24.9	24.9	24.9	1848.3	18.6	18.6	21.7	21.7
50	2467.7	24.6	49.5	49.5	2538.4	25.5	44.0	25.0	46.8
38	4989.4	49.7	99.2	99.2	3941.3	39.6	83.6	44.6	91.4
25	0.0	0.0	99.2	99.2	415.7	4.2	87.8	2.1	93.5
19	0.0	0.0	99.2	99.2	32.8	0.3	88.1	0.2	93.6
12.5	0.0	0.0	99.2	99.2	23.1	0.2	88.3	0.1	93.8
9.5	0.0	0.0	99.2	99.2	10.0	0.1	88.4	0.1	93.8
6.3	0.0	0.0	99.2	99.2	5.8	0.1	88.5	0.0	93.8
4.8	0.0	0.0	99.2	99.2	2.3	0.0	88.5	0.0	93.8
2.4	0.4	0.0	99.2	99.2	2.0	0.0	88.5	0.0	93.9
1.68	0.5	0.0	99.2	99.2	0.6	0.0	88.5	0.0	93.9
1.2	0.1	0.0	99.2	99.2	1.1	0.0	88.5	0.0	93.9
0.6	0.3	0.0	99.2	99.2	4.2	0.0	88.6	0.0	93.9
0.3	0.6	0.0	99.2	99.2	16.8	0.2	88.8	0.1	94.0
0.15	0.6	0.0	99.2	99.2	518.1	5.2	94.0	2.6	96.6
0.11	0.7	0.0	99.2	99.2	290.7	2.9	96.9	1.5	98.0
0.07	0.4	0.0	99.2	99.2	152.4	1.5	98.4	0.8	98.8
0.01	78.5	0.8	100.0	100.0	159.5	1.6	100.0	1.2	100.0
TOTAL	10045.2	100.0		9963.1	100.0		100.0		
M.F.			8.9			8.0		8.4	

TABELA 19

BLOCO 01 / CICLO 09

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	2478.9	24.6	24.6	24.6	1720.9	17.2	17.2	20.9	20.9
50	2535.1	25.2	49.8	49.8	2813.9	28.1	45.3	26.6	47.5
38	5006.1	49.7	99.4	99.4	4344.8	43.4	88.6	46.5	94.0
25	0.0	0.0	99.4	99.4	55.5	0.6	89.2	0.3	94.3
19	0.0	0.0	99.4	99.4	8.8	0.1	89.3	0.0	94.3
12.5	0.0	0.0	99.4	99.4	0.0	0.0	89.3	0.0	94.3
9.5	0.0	0.0	99.4	99.4	0.0	0.0	89.3	0.0	94.3
6.3	0.0	0.0	99.4	99.4	0.3	0.0	89.3	0.0	94.3
4.8	0.0	0.0	99.4	99.4	0.0	0.0	89.3	0.0	94.3
2.4	0.5	0.0	99.4	99.4	0.4	0.0	89.3	0.0	94.4
1.68	0.3	0.0	99.4	99.4	0.3	0.0	89.3	0.0	94.4
1.2	0.3	0.0	99.4	99.4	0.3	0.0	89.3	0.0	94.4
0.6	0.4	0.0	99.4	99.4	2.5	0.0	89.3	0.0	94.4
0.3	0.6	0.0	99.5	99.5	10.8	0.1	89.4	0.1	94.4
0.15	1.2	0.0	99.5	99.5	507.6	5.1	94.5	2.5	97.0
0.11	0.8	0.0	99.5	99.5	285.5	2.8	97.3	1.4	98.4
0.07	0.8	0.0	99.5	99.5	116.2	1.2	98.5	0.6	99.0
0.01	52.5	0.5	100.0	100.0	152.3	1.5	100.0	1.0	100.0
TOTAL	10077.5	100.0			10020.1	100.0		100.0	
M.F.			8.9				8.1		8.5

TABELA 20

BLOCO 01 / CICLO 12

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	2483.6	24.8	24.8	24.8	2274.0	22.8	22.8	23.8	23.8
50	2509.9	25.0	49.8	49.8	2268.8	22.8	45.6	23.9	47.7
38	4959.1	49.4	99.2	99.2	4373.0	43.9	89.6	46.7	94.4
25	0.0	0.0	99.2	99.2	0.0	0.0	89.6	0.0	94.4
19	0.0	0.0	99.2	99.2	0.0	0.0	89.6	0.0	94.4
12.5	0.0	0.0	99.2	99.2	0.0	0.0	89.6	0.0	94.4
9.5	0.0	0.0	99.2	99.2	0.0	0.0	89.6	0.0	94.4
6.3	0.0	0.0	99.2	99.2	5.0	0.1	89.6	0.0	94.4
4.8	1.8	0.0	99.2	99.2	0.0	0.0	89.6	0.0	94.4
2.4	1.2	0.0	99.2	99.2	0.6	0.0	89.6	0.0	94.4
1.68	0.8	0.0	99.2	99.2	0.6	0.0	89.6	0.0	94.4
1.2	0.6	0.0	99.2	99.2	0.7	0.0	89.7	0.0	94.4
0.6	0.7	0.0	99.2	99.2	2.8	0.0	89.7	0.0	94.5
0.3	1.1	0.0	99.3	99.3	13.3	0.1	89.8	0.1	94.5
0.15	1.7	0.0	99.3	99.3	631.4	6.3	96.2	3.2	97.7
0.11	1.0	0.0	99.3	99.3	130.4	1.3	97.5	0.7	98.4
0.07	1.5	0.0	99.3	99.3	117.5	1.2	98.6	0.6	99.0
0.01	70.3	0.7	100.0	100.0	134.5	1.4	100.0	1.0	100.0
TOTAL	10033.3	100.0			9952.6	100.0		100.0	
M.F.			8.9				8.1		8.5

TABELA 21

BLOCO 01 / CICLO 15

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	2514.2	25.0	25.0	25.0	2390.5	23.9	23.9	24.5	24.5
50	2494.7	24.8	49.9	49.9	2350.7	23.6	47.5	24.2	48.7
38	4972.6	49.5	99.4	99.4	4591.1	46.0	93.5	47.8	96.4
25	0.0	0.0	99.4	99.4	0.0	0.0	93.5	0.0	96.4
19	0.0	0.0	99.4	99.4	0.0	0.0	93.5	0.0	96.4
12.5	2.3	0.0	99.4	99.4	7.2	0.1	93.6	0.0	96.5
9.5	0.0	0.0	99.4	99.4	0.0	0.0	93.6	0.0	96.5
6.3	0.3	0.0	99.4	99.4	1.1	0.0	93.6	0.0	96.5
4.8	0.2	0.0	99.4	99.4	0.9	0.0	93.6	0.0	96.5
2.4	1.6	0.0	99.4	99.4	0.2	0.0	93.6	0.0	96.5
1.68	0.5	0.0	99.4	99.4	0.1	0.0	93.6	0.0	96.5
1.2	0.4	0.0	99.4	99.4	0.1	0.0	93.6	0.0	96.5
0.6	0.8	0.0	99.4	99.4	1.7	0.0	93.6	0.0	96.5
0.3	1.0	0.0	99.4	99.4	8.0	0.1	93.7	0.0	96.6
0.15	1.5	0.0	99.5	99.5	223.9	2.2	95.9	1.1	97.7
0.11	1.3	0.0	99.5	99.5	104.8	1.0	97.0	0.5	98.2
0.07	1.4	0.0	99.5	99.5	130.4	1.3	98.3	0.7	98.9
0.01	51.9	0.5	100.0	100.0	170.8	1.7	100.0	1.1	100.0
TOTAL	10044.7	100.0			9981.5	100.0			
M.F.			8.9				8.4		8.7

TABELA 22

BLOCO 01 / CICLO 18

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	2511.7	24.9	24.9	24.9	2260.2	22.6	22.6	23.8	23.8
50	2520.1	25.0	49.9	49.9	2070.8	20.7	43.4	22.9	46.6
38	4948.7	49.1	99.0	99.0	4276.5	42.8	86.2	46.0	92.6
25	0.0	0.0	99.0	99.0	245.9	2.5	88.7	1.2	93.8
19	9.7	0.1	99.0	99.0	0.0	0.0	88.7	0.0	93.9
12.5	0.0	0.0	99.0	99.0	0.0	0.0	88.7	0.0	93.9
9.5	0.0	0.0	99.0	99.0	2.2	0.0	88.7	0.0	93.9
6.3	4.2	0.0	99.1	99.1	0.0	0.0	88.7	0.0	93.9
4.8	1.0	0.0	99.1	99.1	0.0	0.0	88.7	0.0	93.9
2.4	0.7	0.0	99.1	99.1	0.4	0.0	88.7	0.0	93.9
1.68	0.8	0.0	99.1	99.1	0.4	0.0	88.7	0.0	93.9
1.2	0.5	0.0	99.1	99.1	0.7	0.0	88.7	0.0	93.9
0.6	1.1	0.0	99.1	99.1	3.1	0.0	88.8	0.0	94.0
0.3	0.6	0.0	99.1	99.1	15.2	0.2	88.9	0.1	94.0
0.15	1.7	0.0	99.2	99.2	570.7	5.7	94.6	2.9	96.9
0.11	0.7	0.0	99.2	99.2	255.3	2.6	97.2	1.3	98.2
0.07	0.6	0.0	99.2	99.2	144.1	1.4	98.6	0.7	98.9
0.01	84.0	0.8	100.0	100.0	135.0	1.4	100.0	1.1	100.0
TOTAL	10086.1	100.0			9980.5	100.0			
M.F.			8.9				8.0		8.5

TABELA 23

BLOCO 01 / CICLO 24

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	2490.0	24.7	24.7	24.7	2290.5	22.9	22.9	23.8	23.8
50	2482.4	24.7	49.4	49.4	2010.0	20.1	43.1	22.4	46.2
38	5012.5	49.8	99.2	99.2	4470.3	44.8	87.8	47.3	93.5
25	0.0	0.0	99.2	99.2	30.9	0.3	88.2	0.2	93.7
19	0.0	0.0	99.2	99.2	9.3	0.1	88.2	0.0	93.7
12.5	0.0	0.0	99.2	99.2	15.7	0.2	88.4	0.1	93.8
9.5	0.0	0.0	99.2	99.2	0.0	0.0	88.4	0.0	93.8
6.3	0.0	0.0	99.2	99.2	4.9	0.0	88.4	0.0	93.8
4.8	0.6	0.0	99.2	99.2	1.0	0.0	88.5	0.0	93.8
2.4	1.8	0.0	99.2	99.2	1.0	0.0	88.5	0.0	93.8
1.68	0.4	0.0	99.2	99.2	0.6	0.0	88.5	0.0	93.9
1.2	0.4	0.0	99.2	99.2	1.0	0.0	88.5	0.0	93.9
0.6	1.2	0.0	99.2	99.2	4.2	0.0	88.5	0.0	93.9
0.3	1.3	0.0	99.3	99.3	18.0	0.2	88.7	0.1	94.0
0.15	1.5	0.0	99.3	99.3	705.2	7.1	95.8	3.5	97.5
0.11	0.7	0.0	99.3	99.3	210.6	2.1	97.9	1.1	98.6
0.07	0.8	0.0	99.3	99.3	112.0	1.1	99.0	0.6	99.1
0.01	72.0	0.7	100.0	100.0	99.7	1.0	100.0	0.9	100.0
TOTAL	10065.6	100.0			9984.9	100.0		100.0	
M.F.			8.9				8.0		8.5

TABELA 24

BLOCO 01 / CICLO 30

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	2476.5	24.7	24.7	24.7	1854.0	18.7	18.7	21.7	21.7
50	2482.0	24.7	49.4	49.4	2660.6	26.8	45.4	25.8	47.4
38	4976.6	49.6	99.0	99.0	4091.9	41.2	86.6	45.4	92.8
25	0.0	0.0	99.0	99.0	180.8	1.8	88.4	0.9	93.7
19	0.0	0.0	99.0	99.0	30.8	0.3	88.8	0.2	93.9
12.5	0.0	0.0	99.0	99.0	12.6	0.1	88.9	0.1	94.0
9.5	0.0	0.0	99.0	99.0	0.0	0.0	88.9	0.0	94.0
6.3	3.0	0.0	99.1	99.1	0.0	0.0	88.9	0.0	94.0
4.8	0.7	0.0	99.1	99.1	0.0	0.0	88.9	0.0	94.0
2.4	2.4	0.0	99.1	99.1	0.8	0.0	88.9	0.0	94.0
1.68	0.8	0.0	99.1	99.1	0.4	0.0	88.9	0.0	94.0
1.2	0.8	0.0	99.1	99.1	0.9	0.0	88.9	0.0	94.0
0.6	2.2	0.0	99.1	99.1	2.9	0.0	88.9	0.0	94.0
0.3	1.9	0.0	99.2	99.2	11.1	0.1	89.0	0.1	94.1
0.15	3.2	0.0	99.2	99.2	582.4	5.9	94.9	2.9	97.1
0.11	2.2	0.0	99.2	99.2	104.9	1.1	96.0	0.5	97.6
0.07	1.7	0.0	99.2	99.2	239.1	2.4	98.4	1.2	98.8
0.01	77.1	0.8	100.0	100.0	161.9	1.6	100.0	1.2	100.0
TOTAL	10031.1	100.0			9935.1	100.0		100.0	
M.F.			8.9				8.0		8.5

TABELA 25

BLOCO 01 / CICLO 36

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	2483.4	24.7	24.7	24.7	2260.3	22.7	22.7	23.7	23.7
50	2498.7	24.8	49.5	49.5	2254.5	22.6	45.3	23.7	47.4
38	4979.2	49.5	99.0	99.0	4380.0	44.0	89.3	46.7	94.1
25	0.0	0.0	99.0	99.0	0.0	0.0	89.3	0.0	94.1
19	0.0	0.0	99.0	99.0	0.0	0.0	89.3	0.0	94.1
12.5	0.0	0.0	99.0	99.0	0.0	0.0	89.3	0.0	94.1
9.5	0.0	0.0	99.0	99.0	0.0	0.0	89.3	0.0	94.1
6.3	0.0	0.0	99.0	99.0	0.0	0.0	89.3	0.0	94.1
4.8	0.3	0.0	99.0	99.0	0.0	0.0	89.3	0.0	94.1
2.4	1.1	0.0	99.0	99.0	0.1	0.0	89.3	0.0	94.2
1.68	0.6	0.0	99.0	99.0	0.4	0.0	89.3	0.0	94.2
1.2	0.6	0.0	99.0	99.0	0.3	0.0	89.3	0.0	94.2
0.6	0.8	0.0	99.0	99.0	2.2	0.0	89.3	0.0	94.2
0.3	1.3	0.0	99.0	99.0	12.2	0.1	89.4	0.1	94.2
0.15	2.1	0.0	99.1	99.1	631.2	6.3	95.8	3.2	97.4
0.11	1.3	0.0	99.1	99.1	188.0	1.9	97.7	1.0	98.4
0.07	0.9	0.0	99.1	99.1	101.3	1.0	98.7	0.5	98.9
0.01	91.5	0.9	100.0	100.0	130.8	1.3	100.0	1.1	100.0
TOTAL	10061.8	100.0			9961.3	100.0		100.0	
M.F.			8.9				8.1		8.5

TABELA 26

BLOCO 01 / CICLO 42

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	2491.2	24.7	24.7	24.7	1838.9	18.5	18.5	21.6	21.6
50	2492.6	24.8	49.5	49.5	2586.1	26.0	44.6	25.4	47.0
38	4946.6	49.1	98.6	98.6	4014.5	40.4	85.0	44.8	91.8
25	0.0	0.0	98.6	98.6	309.6	3.1	88.1	1.6	93.4
19	6.0	0.1	98.7	98.7	0.0	0.0	88.1	0.0	93.4
12.5	0.0	0.0	98.7	98.7	18.4	0.2	88.3	0.1	93.5
9.5	0.0	0.0	98.7	98.7	2.8	0.0	88.3	0.0	93.5
6.3	1.5	0.0	98.7	98.7	1.3	0.0	88.3	0.0	93.5
4.8	0.6	0.0	98.7	98.7	0.0	0.0	88.3	0.0	93.5
2.4	1.2	0.0	98.7	98.7	0.2	0.0	88.3	0.0	93.5
1.68	0.4	0.0	98.7	98.7	0.4	0.0	88.3	0.0	93.5
1.2	0.4	0.0	98.7	98.7	0.4	0.0	88.3	0.0	93.5
0.6	1.3	0.0	98.7	98.7	3.0	0.0	88.4	0.0	93.6
0.3	1.2	0.0	98.7	98.7	17.8	0.2	88.6	0.1	93.6
0.15	1.5	0.0	98.8	98.8	607.6	6.1	94.7	3.1	96.7
0.11	0.7	0.0	98.8	98.8	266.5	2.7	97.4	1.3	98.1
0.07	0.8	0.0	98.8	98.8	112.7	1.1	98.5	0.6	98.6
0.01	123.1	1.2	100.0	100.0	150.2	1.5	100.0	1.4	100.0
TOTAL	10069.1	100.0			9930.4	100.0		100.0	
M.F.			8.9				8.0		8.4

## BLOCO 01 / CICLO 48

TABELA 27

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	2454.7	24.6	24.6		2240.2	22.7	22.7	23.6	23.6
50	2470.4	24.7	49.3		2221.1	22.5	45.2	23.6	47.2
38	4945.5	49.5	98.8		4258.6	43.1	88.3	46.3	93.6
25	0.0	0.0	98.8		93.7	0.9	89.3	0.5	94.0
19	0.0	0.0	98.8		0.0	0.0	89.3	0.0	94.0
12.5	6.9	0.1	98.9		0.0	0.0	89.3	0.0	94.1
9.5	0.0	0.0	98.9		0.0	0.0	89.3	0.0	94.1
6.3	0.8	0.0	98.9		0.0	0.0	89.3	0.0	94.1
4.8	0.2	0.0	98.9		0.0	0.0	89.3	0.0	94.1
2.4	1.7	0.0	98.9		0.8	0.0	89.3	0.0	94.1
1.68	0.4	0.0	98.9		0.4	0.0	89.3	0.0	94.1
1.2	0.6	0.0	98.9		0.4	0.0	89.3	0.0	94.1
0.6	0.6	0.0	98.9		2.4	0.0	89.3	0.0	94.1
0.3	0.6	0.0	98.9		11.1	0.1	89.4	0.1	94.2
0.15	0.5	0.0	98.9		602.3	6.1	95.5	3.1	97.2
0.11	0.3	0.0	98.9		220.0	2.2	97.8	1.1	98.3
0.07	0.2	0.0	98.9		106.8	1.1	98.9	0.5	98.9
0.01	108.6	1.1	100.0		112.8	1.1	100.0	1.1	100.0
TOTAL	9992.0	100.0			9870.6	100.0		100.0	
M.F.			8.9				8.1		8.5

## BLOCO 01 / CICLO 54

TABELA 28

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	2502.5	24.8	24.8		2278.6	22.9	22.9	23.9	23.9
50	2468.3	24.5	49.4		2196.5	22.1	45.0	23.3	47.2
38	4970.2	49.3	98.7		4263.6	42.9	87.9	46.1	93.3
25	0.0	0.0	98.7		114.4	1.2	89.1	0.6	93.9
19	0.0	0.0	98.7		0.0	0.0	89.1	0.0	93.9
12.5	4.4	0.0	98.7		0.0	0.0	89.1	0.0	93.9
9.5	0.0	0.0	98.7		0.0	0.0	89.1	0.0	93.9
6.3	0.4	0.0	98.7		0.0	0.0	89.1	0.0	93.9
4.8	0.0	0.0	98.7		0.0	0.0	89.1	0.0	93.9
2.4	1.1	0.0	98.8		0.0	0.0	89.1	0.0	93.9
1.68	0.3	0.0	98.8		0.2	0.0	89.1	0.0	93.9
1.2	0.3	0.0	98.8		0.2	0.0	89.1	0.0	93.9
0.6	0.5	0.0	98.8		2.3	0.0	89.1	0.0	93.9
0.3	0.9	0.0	98.8		11.9	0.1	89.2	0.1	94.0
0.15	0.7	0.0	98.8		596.2	6.0	95.2	3.0	97.0
0.11	0.5	0.0	98.8		227.0	2.3	97.5	1.1	98.1
0.07	0.3	0.0	98.8		95.6	1.0	98.4	0.5	98.6
0.01	121.3	1.2	100.0		154.5	1.6	100.0	1.4	100.0
TOTAL	10071.7	100.0			9941.0	100.0		100.0	
M.F.			8.9				8.1		8.5

TABELA 29

BLOCO 11 / CICLO 03

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA	
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida
64	2428.1	24.2	24.2	24.2	1076.5	10.9	10.9	17.5
50	2502.5	24.9	49.1	49.5	1906.4	19.3	30.1	22.1
38	4968.9	49.5	98.6	98.6	2710.7	27.4	57.5	38.4
25	0.0	0.0	98.6	98.6	1250.6	12.6	70.1	6.3
19	31.3	0.3	98.9	98.9	154.3	1.6	71.7	84.4
12.5	24.7	0.2	99.2	99.2	82.1	0.8	72.5	85.3
9.5	0.0	0.0	99.2	99.2	17.7	0.2	72.7	85.9
6.3	3.3	0.0	99.2	99.2	17.3	0.2	72.9	86.0
4.8	0.9	0.0	99.2	99.2	7.3	0.1	73.0	86.1
2.4	1.6	0.0	99.2	99.2	8.2	0.1	73.0	86.1
1.68	0.8	0.0	99.2	99.2	6.4	0.1	73.1	86.2
1.2	0.7	0.0	99.2	99.2	6.7	0.1	73.2	86.2
0.6	1.6	0.0	99.3	99.3	25.6	0.3	73.4	86.3
0.3	1.3	0.0	99.3	99.3	155.9	1.6	75.0	87.1
0.15	1.5	0.0	99.3	99.3	2182.7	22.0	97.1	98.2
0.11	0.7	0.0	99.3	99.3	66.2	0.7	97.7	98.5
0.07	1.3	0.0	99.3	99.3	78.7	0.8	98.5	98.9
0.01	69.5	0.7	100.0	100.0	146.2	1.5	100.0	1.1
TOTAL	10038.7	100.0			9899.5	100.0		100.0
M.F.			8.9			6.7		7.8

TABELA 30

BLOCO 11 / CICLO 06

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASAO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMETRICA MÉDIA	
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida
64	2457.0	24.4	24.4	24.4	1145.9	11.6	11.6	18.0
50	2476.2	24.6	49.0	49.4	1808.0	18.2	29.8	21.4
38	4978.7	49.4	98.4	98.4	1674.9	16.9	46.7	33.2
25	23.9	0.2	98.7	98.7	1040.0	10.5	57.2	77.9
19	30.2	0.3	99.0	99.0	300.3	3.0	60.2	1.7
12.5	13.1	0.1	99.1	99.1	47.4	0.5	60.7	79.9
9.5	2.6	0.0	99.1	99.1	20.9	0.2	60.9	0.1
6.3	6.9	0.1	99.2	99.2	30.9	0.3	61.2	0.2
4.8	2.1	0.0	99.2	99.2	13.7	0.1	61.4	0.1
2.4	2.1	0.0	99.2	99.2	16.1	0.2	61.5	0.1
1.68	1.5	0.0	99.3	99.3	13.8	0.1	61.7	0.1
1.2	1.4	0.0	99.3	99.3	17.3	0.2	61.8	0.1
0.6	3.0	0.0	99.3	99.3	113.0	1.1	63.0	0.6
0.3	2.4	0.0	99.3	99.3	737.7	7.4	70.4	3.7
0.15	3.0	0.0	99.3	99.3	2178.0	22.0	92.4	11.0
0.11	1.4	0.0	99.4	99.4	254.5	2.6	95.0	1.3
0.07	1.7	0.0	99.4	99.4	242.0	2.4	97.4	1.2
0.01	62.6	0.6	100.0	100.0	257.5	2.6	100.0	1.6
TOTAL	10069.8	100.0			9911.9	100.0		100.0
M.F.			8.9			5.8		7.4

TABELA 31

BLOCO 11 / CICLO 09

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	1630.9	16.2	16.2	16.2	602.1	6.6	6.6	11.4	11.4
50	2442.9	24.2	40.4	40.4	1022.0	11.2	17.8	17.7	29.1
38	5072.3	50.3	90.7	90.7	1946.5	21.3	39.0	35.8	64.9
25	401.6	4.0	94.7	94.7	1268.3	13.9	52.9	8.9	73.8
19	116.8	1.2	95.8	95.8	180.6	2.0	54.9	1.6	75.4
12.5	85.8	0.9	96.7	96.7	62.1	0.7	55.6	0.8	76.1
9.5	52.8	0.5	97.2	97.2	9.2	0.1	55.7	0.3	76.4
6.3	36.5	0.4	97.6	97.6	23.5	0.3	55.9	0.3	76.7
4.8	17.3	0.2	97.7	97.7	8.8	0.1	56.0	0.1	76.9
2.4	27.3	0.3	98.0	98.0	17.0	0.2	56.2	0.2	77.1
1.68	13.0	0.1	98.1	98.1	13.8	0.2	56.4	0.1	77.2
1.2	12.5	0.1	98.3	98.3	17.9	0.2	56.5	0.2	77.4
0.6	25.9	0.3	98.5	98.5	122.5	1.3	57.9	0.8	78.2
0.3	21.2	0.2	98.7	98.7	908.3	9.9	67.8	5.1	83.3
0.15	21.9	0.2	98.9	98.9	2164.9	23.7	91.5	11.9	95.2
0.11	7.8	0.1	99.0	99.0	316.1	3.5	94.9	1.8	97.0
0.07	8.5	0.1	99.1	99.1	248.2	2.7	97.7	1.4	98.4
0.01	90.8	0.9	100.0	100.0	214.3	2.3	100.0	1.6	100.0
TOTAL	10085.5	100.0			9146.1	100.0		100.0	
M.F.			8.7			5.4			7.0

TABELA 32

BLOCO 11 / CICLO 12

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	1206.6	12.0	12.0	12.0	1092.8	12.8	12.8	12.4	12.4
50	2497.5	24.9	36.9	36.9	1315.3	15.4	28.2	20.1	32.6
38	4822.5	48.0	84.9	84.9	1363.1	16.0	44.2	32.0	64.5
25	729.9	7.3	92.1	92.1	699.0	8.2	52.4	7.7	72.3
19	170.5	1.7	93.8	93.8	158.9	1.9	54.3	1.8	74.1
12.5	151.5	1.5	95.3	95.3	71.0	0.8	55.1	1.2	75.2
9.5	60.9	0.6	95.9	95.9	18.4	0.2	55.3	0.4	75.6
6.3	73.6	0.7	96.7	96.7	15.5	0.2	55.5	0.5	76.1
4.8	34.2	0.3	97.0	97.0	7.4	0.1	55.6	0.2	76.3
2.4	57.4	0.6	97.6	97.6	11.6	0.1	55.7	0.4	76.7
1.68	27.3	0.3	97.8	97.8	8.3	0.1	55.8	0.2	76.8
1.2	22.9	0.2	98.1	98.1	9.4	0.1	56.0	0.2	77.0
0.6	37.8	0.4	98.4	98.4	102.7	1.2	57.2	0.8	77.8
0.3	24.3	0.2	98.7	98.7	685.3	8.0	65.2	4.1	81.9
0.15	20.6	0.2	98.9	98.9	1845.3	21.6	86.8	10.9	92.9
0.11	8.8	0.1	99.0	99.0	455.7	5.3	92.2	2.7	95.6
0.07	8.2	0.1	99.1	99.1	364.1	4.3	96.4	2.2	97.8
0.01	93.9	0.9	100.0	100.0	302.8	3.6	100.0	2.2	100.0
TOTAL	10048.4	100.0			8526.6	100.0		100.0	
M.F.			8.6			5.3			7.0

TABELA 33

BLOCO 11 / CICLO 15

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	2221.4	22.1	22.1		1560.1	18.8	18.8	20.5	20.5
50	2426.1	24.2	46.3		1312.1	15.8	34.6	20.0	40.4
38	3660.3	36.5	82.7		1326.0	16.0	50.5	26.2	66.6
25	777.1	7.7	90.5		780.0	9.4	59.9	8.6	75.2
19	169.5	1.7	92.2		31.9	0.4	60.3	1.0	76.2
12.5	73.6	0.7	92.9		28.5	0.3	60.6	0.5	76.8
9.5	50.0	0.5	93.4		3.1	0.0	60.7	0.3	77.0
6.3	77.7	0.8	94.2		5.4	0.1	60.8	0.4	77.5
4.8	0.6	0.0	94.2		4.0	0.0	60.8	0.0	77.5
2.4	83.2	0.8	95.0		6.6	0.1	60.9	0.5	77.9
1.68	5.0	0.0	95.1		6.6	0.1	61.0	0.1	78.0
1.2	57.6	0.6	95.6		7.6	0.1	61.0	0.3	78.3
0.6	95.6	1.0	96.6		58.7	0.7	61.8	0.8	79.2
0.3	59.3	0.6	97.2		805.9	9.7	71.5	5.1	84.3
0.15	49.6	0.5	97.7		1859.5	22.4	93.8	11.4	95.8
0.11	18.6	0.2	97.8		219.0	2.6	96.5	1.4	97.2
0.07	14.8	0.1	98.0		145.8	1.8	98.2	1.0	98.1
0.01	201.5	2.0	100.0		147.0	1.8	100.0	1.9	100.0
TOTAL	10041.5	100.0			8307.8	100.0		100.0	
M.F.			8.4				5.8		7.1

TABELA 34

BLOCO 11 / CICLO 18

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	1652.3	16.4	16.4		1397.2	18.0	18.0	17.2	17.2
50	1496.0	14.8	31.2		276.6	3.6	21.6	9.2	26.4
38	4613.7	45.7	76.9		220.8	2.8	24.4	24.3	50.6
25	518.3	5.1	82.0		741.0	9.5	34.0	7.3	58.0
19	182.7	1.8	83.8		147.1	1.9	35.8	1.9	59.8
12.5	206.2	2.0	85.8		95.9	1.2	37.1	1.6	61.5
9.5	86.8	0.9	86.7		11.3	0.1	37.2	0.5	62.0
6.3	114.8	1.1	87.8		30.3	0.4	37.6	0.8	62.7
4.8	68.6	0.7	88.5		12.3	0.2	37.8	0.4	63.1
2.4	216.3	2.1	90.7		24.6	0.3	38.1	1.2	64.4
1.68	153.8	1.5	92.2		24.1	0.3	38.4	0.9	65.3
1.2	159.3	1.6	93.8		42.2	0.5	38.9	1.1	66.4
0.6	228.9	2.3	96.0		409.7	5.3	44.2	3.8	70.1
0.3	108.1	1.1	97.1		1121.8	14.5	58.7	7.8	77.9
0.15	108.3	1.1	98.2		2115.0	27.2	85.9	14.2	92.0
0.11	32.9	0.3	98.5		325.6	4.2	90.1	2.3	94.3
0.07	25.9	0.3	98.8		352.8	4.5	94.7	2.4	96.7
0.01	125.9	1.2	100.0		414.1	5.3	100.0	3.3	100.0
TOTAL	10098.8	100.0			7762.4	100.0		100.0	
M.F.			8.1				4.0		6.1

TABELA 35

BLOCO 11 / CICLO 21

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	2275.2	22.6	22.6		1610.3	21.8	21.8	22.2	22.2
50	1589.5	15.8	38.4		1001.2	13.5	35.3	14.7	36.9
38	3530.2	35.1	73.5		725.9	9.8	45.1	22.5	59.3
25	1053.8	10.5	84.0		584.6	7.9	53.0	9.2	68.5
19	231.8	2.3	86.3		78.2	1.1	54.1	1.7	70.2
12.5	270.3	2.7	89.0		33.5	0.5	54.5	1.6	71.8
9.5	32.8	0.3	89.3		9.6	0.1	54.7	0.2	72.0
6.3	85.1	0.8	90.2		9.4	0.1	54.8	0.5	72.5
4.8	41.3	0.4	90.6		4.8	0.1	54.9	0.2	72.7
2.4	80.3	0.8	91.4		9.0	0.1	55.0	0.5	73.2
1.68	64.9	0.6	92.0		7.9	0.1	55.1	0.4	73.6
1.2	119.4	1.2	93.2		10.5	0.1	55.2	0.7	74.2
0.6	233.4	2.3	95.5		74.8	1.0	56.3	1.7	75.9
0.3	156.7	1.6	97.1		810.0	11.0	67.2	6.3	82.1
0.15	92.6	0.9	98.0		1702.0	23.0	90.2	12.0	94.1
0.11	37.6	0.4	98.4		290.5	3.9	94.1	2.2	96.3
0.07	34.0	0.3	98.7		241.3	3.3	97.4	1.8	98.1
0.01	129.1	1.3	100.0		191.4	2.6	100.0	1.9	100.0
TOTAL	10058.0	100.0			7394.9	100.0		100.0	
M.F.			8.1			5.3		6.7	

TABELA 36

BLOCO 11 / CICLO 24

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	1701.0	16.9	16.9		1038.0	14.3	14.3	15.6	15.6
50	2333.8	23.2	40.1		1312.9	18.1	32.3	20.6	36.2
38	3238.4	32.2	72.4		792.4	10.9	43.2	21.6	57.8
25	950.3	9.5	81.8		323.0	4.4	47.7	6.9	64.7
19	360.1	3.6	85.4		34.1	0.5	48.1	2.0	66.8
12.5	257.0	2.6	88.0		14.4	0.2	48.3	1.4	68.1
9.5	62.8	0.6	88.6		10.1	0.1	48.5	0.4	68.5
6.3	115.8	1.2	89.7		10.0	0.1	48.6	0.6	69.2
4.8	50.3	0.5	90.2		6.2	0.1	48.7	0.3	69.5
2.4	99.5	1.0	91.2		12.3	0.2	48.9	0.6	70.0
1.68	76.8	0.8	92.0		10.1	0.1	49.0	0.5	70.5
1.2	101.3	1.0	93.0		15.2	0.2	49.2	0.6	71.1
0.6	255.2	2.5	95.5		287.5	4.0	53.2	3.2	74.3
0.3	106.8	1.1	96.6		1035.5	14.2	67.4	7.6	82.0
0.15	93.5	0.9	97.5		1682.6	23.1	90.5	12.0	94.0
0.11	32.9	0.3	97.9		444.5	6.1	96.6	3.2	97.3
0.07	28.5	0.3	98.1		138.5	1.9	98.5	1.1	98.3
0.01	186.4	1.9	100.0		105.9	1.5	100.0	1.7	100.0
TOTAL	10050.4	100.0			7273.2	100.0		100.0	
M.F.			8.1			5.0		6.5	

TABELA 37

BLOCO 11 / CICLO 27

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	1802.0	17.9	17.9	17.9	1491.6	29.2	29.2	23.6	23.6
50	1592.2	15.8	33.8	50.8	1004.1	19.7	48.9	17.8	41.3
38	1711.1	17.0	50.8	64.7	537.0	10.5	59.4	13.8	55.1
25	1393.4	13.9	64.7	64.7	210.3	4.1	63.5	9.0	64.1
19	518.9	5.2	69.8	69.8	0.0	0.0	63.5	2.6	66.7
12.5	375.3	3.7	73.5	73.5	9.6	0.2	63.7	2.0	68.6
9.5	182.6	1.8	75.4	75.4	0.0	0.0	63.7	0.9	69.5
6.3	172.5	1.7	77.1	77.1	1.7	0.0	63.7	0.9	70.4
4.8	39.8	0.4	77.5	77.5	1.2	0.0	63.8	0.2	70.6
2.4	202.7	2.0	79.5	79.5	0.8	0.0	63.8	1.0	71.6
1.68	183.8	1.8	81.3	81.3	1.3	0.0	63.8	0.9	72.6
1.2	393.9	3.9	85.2	85.2	1.5	0.0	63.8	2.0	74.5
0.6	525.4	5.2	90.5	90.5	9.1	0.2	64.0	2.7	77.2
0.3	407.7	4.1	94.5	94.5	240.7	4.7	68.7	4.4	81.6
0.15	231.8	2.3	96.8	96.8	1133.6	22.2	90.9	12.3	93.9
0.11	55.8	0.6	97.4	97.4	243.7	4.8	95.7	2.7	96.5
0.07	59.6	0.6	98.0	98.0	107.1	2.1	97.8	1.3	97.9
0.01	203.6	2.0	100.0	100.0	112.0	2.2	100.0	2.1	100.0
TOTAL	10052.1	100.0			5105.3	100.0		100.0	
M.F.			7.2				6.0		6.6

TABELA 38

BLOCO 11 / CICLO 30

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	1073.2	10.7	10.7	10.7	924.0	19.0	19.0	14.8	14.8
50	818.2	8.2	18.9	29.7	286.9	5.9	24.9	7.0	21.9
38	2978.6	29.7	48.6	48.6	860.9	17.7	42.5	23.7	45.6
25	1911.0	19.1	67.7	67.7	394.4	8.1	50.6	13.6	59.2
19	472.6	4.7	72.4	72.4	32.9	0.7	51.3	2.7	61.9
12.5	437.9	4.4	76.8	76.8	9.3	0.2	51.5	2.3	64.2
9.5	153.5	1.5	78.4	78.4	0.0	0.0	51.5	0.8	64.9
6.3	204.9	2.0	80.4	80.4	6.4	0.1	51.6	1.1	66.0
4.8	71.1	0.7	81.1	81.1	0.4	0.0	51.6	0.4	66.4
2.4	193.1	1.9	83.0	83.0	5.3	0.1	51.8	1.0	67.4
1.68	102.6	1.0	84.1	84.1	3.6	0.1	51.8	0.5	67.9
1.2	242.6	2.4	86.5	86.5	2.1	0.0	51.9	1.2	69.2
0.6	440.3	4.4	90.9	90.9	21.9	0.4	52.3	2.4	71.6
0.3	340.0	3.4	94.3	94.3	585.2	12.0	64.3	7.7	79.3
0.15	209.6	2.1	96.4	96.4	1345.2	27.6	92.0	14.9	94.2
0.11	69.6	0.7	97.1	97.1	182.8	3.8	95.7	2.2	96.4
0.07	76.9	0.8	97.8	97.8	107.1	2.2	97.9	1.5	97.9
0.01	216.9	2.2	100.0	100.0	101.6	2.1	100.0	2.1	100.0
TOTAL	10012.6	100.0			4870.0	100.0		100.0	
M.F.			7.3				5.1		6.2

TABELA 39

BLOCO 11 / CICLO 33

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA	
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida
64	1051.2	10.5	10.5		512.4	10.1	10.1	10.3
50	1577.1	15.7	26.2		852.0	16.9	27.0	16.3
38	2425.5	24.1	50.3		400.2	7.9	34.9	16.0
25	1758.5	17.5	67.8		410.5	8.1	43.0	12.8
19	212.8	2.1	69.9		15.5	0.3	43.3	1.2
12.5	252.4	2.5	72.5		11.7	0.2	43.6	1.4
9.5	95.8	1.0	73.4		7.0	0.1	43.7	0.5
6.3	180.3	1.8	75.2		9.2	0.2	43.9	1.0
4.8	50.3	0.5	75.7		3.0	0.1	44.0	0.3
2.4	216.9	2.2	77.9		10.3	0.2	44.2	1.2
1.68	152.7	1.5	79.4		5.8	0.1	44.3	0.8
1.2	281.5	2.8	82.2		8.2	0.2	44.4	1.5
0.6	630.3	6.3	88.5		60.7	1.2	45.6	3.7
0.3	415.5	4.1	92.6		665.0	13.2	58.8	8.6
0.15	261.2	2.6	95.2		1402.9	27.8	86.6	15.2
0.11	93.9	0.9	96.1		206.8	4.1	90.6	2.5
0.07	85.9	0.9	97.0		229.6	4.5	95.2	2.7
0.01	302.0	3.0	100.0		243.0	4.8	100.0	3.9
TOTAL	10043.8	100.0			5053.8	100.0		100.0
M.F.			7.1			4.5		5.8

TABELA 40

BLOCO 11 / CICLO 36

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA	
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida
64	1781.3	17.8	17.8		1512.4	33.5	33.5	25.7
50	946.4	9.4	27.2		538.1	11.9	45.4	10.7
38	1783.9	17.8	45.0		282.4	6.3	51.7	12.0
25	2319.5	23.2	68.2		133.5	3.0	54.7	13.1
19	220.0	2.2	70.4		67.2	1.5	56.2	1.8
12.5	280.0	2.8	73.2		12.4	0.3	56.4	1.5
9.5	130.1	1.3	74.5		0.0	0.0	56.4	0.6
6.3	200.6	2.0	76.5		6.1	0.1	56.6	1.1
4.8	71.1	0.7	77.2		0.7	0.0	56.6	0.4
2.4	243.3	2.4	79.6		1.6	0.0	56.6	1.2
1.68	133.0	1.3	80.9		1.0	0.0	56.6	0.7
1.2	295.3	2.9	83.9		1.6	0.0	56.7	1.5
0.6	442.8	4.4	88.3		13.4	0.3	57.0	2.4
0.3	429.4	4.3	92.6		145.5	3.2	60.2	3.8
0.15	286.4	2.9	95.5		586.5	13.0	73.2	7.9
0.11	79.2	0.8	96.2		408.7	9.1	82.3	4.9
0.07	77.1	0.8	97.0		585.0	13.0	95.2	6.9
0.01	298.8	3.0	100.0		215.5	4.8	100.0	3.9
TOTAL	10018.2	100.0			4511.6	100.0		100.0
M.F.			7.1			5.1		6.2

TABELA 41

BLOCO 5-10 / CICLO 02

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA	
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida
64	0.0	ERR	ERR	1138.0	11.6	11.6	ERR	ERR
50	0.0	ERR	ERR	1712.0	17.5	29.1	ERR	ERR
38	0.0	ERR	ERR	2625.0	26.8	55.9	ERR	ERR
25	0.0	ERR	ERR	1224.0	12.5	68.4	ERR	ERR
19	0.0	ERR	ERR	128.0	1.3	69.7	ERR	ERR
12.5	0.0	ERR	ERR	81.0	0.8	70.5	ERR	ERR
9.5	0.0	ERR	ERR	6.0	0.1	70.6	ERR	ERR
6.3	0.0	ERR	ERR	0.0	0.0	70.6	ERR	ERR
4.8	0.0	ERR	ERR	7.0	0.1	70.6	ERR	ERR
2.4	0.0	ERR	ERR	4.0	0.0	70.7	ERR	ERR
1.68	0.0	ERR	ERR	0.0	0.0	70.7	ERR	ERR
1.2	0.0	ERR	ERR	22.0	0.2	70.9	ERR	ERR
0.6	0.0	ERR	ERR	130.0	1.3	72.2	ERR	ERR
0.3	0.0	ERR	ERR	285.0	2.9	75.1	ERR	ERR
0.15	0.0	ERR	ERR	698.0	7.1	82.3	ERR	ERR
0.11	0.0	ERR	ERR	453.0	4.6	86.9	ERR	ERR
0.07	0.0	ERR	ERR	430.0	4.4	91.3	ERR	ERR
0.01	0.0	ERR	ERR	855.5	8.7	100.0	ERR	ERR
TOTAL	0.0			9798.5				
M.F.						6.4		

TABELA 42

BLOCO 5-10 / CICLO 04

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA	
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida
64	1066.5	10.6	10.6	1266.6	17.9	17.9	14.2	14.2
50	2137.5	21.2	31.8	423.5	6.0	23.8	13.6	27.8
38	3887.0	38.5	70.3	789.8	11.1	35.0	24.8	52.6
25	1540.0	15.3	85.6	911.0	12.8	47.8	14.1	66.7
19	332.0	3.3	88.9	157.2	2.2	50.0	2.8	69.5
12.5	163.0	1.6	90.5	50.6	0.7	50.8	1.2	70.6
9.5	74.0	0.7	91.2	16.0	0.2	51.0	0.5	71.1
6.3	0.0	0.0	91.2	0.0	0.0	51.0	0.0	71.1
4.8	124.0	1.2	92.5	24.0	0.3	51.3	0.8	71.9
2.4	130.0	1.3	93.7	14.7	0.2	51.5	0.7	72.6
1.68	0.0	0.0	93.7	0.0	0.0	51.5	0.0	72.6
1.2	125.0	1.2	95.0	21.3	0.3	51.8	0.8	73.4
0.6	156.0	1.5	96.5	126.5	1.8	53.6	1.7	75.1
0.3	75.0	0.7	97.3	600.7	8.5	62.1	4.6	79.7
0.15	61.0	0.6	97.9	2017.8	28.5	90.5	14.5	94.2
0.11	64.0	0.6	98.5	83.9	1.2	91.7	0.9	95.1
0.07	49.0	0.5	99.0	279.7	3.9	95.7	2.2	97.3
0.01	100.5	1.0	100.0	307.7	4.3	100.0	2.7	100.0
TOTAL	10084.5	100.0		7091.0	100.0		5.0	6.6
M.F.			8.2					

TABELA 43

BLOCO 5-10 / CICLO 06

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	0.0	0.0	0.0	0.0	575.4	11.1	11.1	5.5	5.5
50	2809.0	28.1	28.1	28.1	673.5	12.9	24.0	20.5	26.0
38	2393.0	23.9	52.0	52.0	1309.2	25.2	49.2	24.5	50.6
25	752.0	7.5	59.5	59.5	449.7	8.6	57.8	8.1	58.6
19	561.0	5.6	65.1	65.1	43.9	0.8	58.7	3.2	61.9
12.5	289.0	2.9	68.0	68.0	17.4	0.3	59.0	1.6	63.5
9.5	121.0	1.2	69.2	69.2	12.3	0.2	59.2	0.7	64.2
6.3	0.0	0.0	69.2	69.2	0.0	0.0	59.2	0.0	64.2
4.8	229.0	2.3	71.5	71.5	7.2	0.1	59.4	1.2	65.4
2.4	296.0	3.0	74.4	74.4	3.1	0.1	59.4	1.5	66.9
1.68	0.0	0.0	74.4	74.4	0.0	0.0	59.4	0.0	66.9
1.2	423.0	4.2	78.6	78.6	7.2	0.1	59.6	2.2	69.1
0.6	858.0	8.6	87.2	87.2	35.8	0.7	60.3	4.6	73.7
0.3	483.0	4.8	92.0	92.0	264.7	5.1	65.3	5.0	78.7
0.15	338.0	3.4	95.4	95.4	945.4	18.2	83.5	10.8	89.5
0.11	95.0	0.9	96.4	96.4	214.6	4.1	87.6	2.5	92.0
0.07	95.0	0.9	97.3	97.3	220.8	4.2	91.9	2.6	94.6
0.01	270.0	2.7	100.0	100.0	422.1	8.1	100.0	5.4	100.0
TOTAL	10012.0	100.0			5202.0	100.0			
M.F.			6.9				5.5		6.2

TABELA 44

BLOCO 5-10 / CICLO 08

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	627.0	6.2	6.2	6.2	806.7	20.8	20.8	13.5	13.5
50	2148.0	21.4	27.6	27.6	897.0	23.1	44.0	22.3	35.8
38	1100.0	10.9	38.6	38.6	650.9	16.8	60.8	13.9	49.7
25	1437.0	14.3	52.9	52.9	0.0	0.0	60.8	7.1	56.8
19	274.0	2.7	55.6	55.6	0.0	0.0	60.8	1.4	58.2
12.5	290.0	2.9	58.5	58.5	0.0	0.0	60.8	1.4	59.6
9.5	225.0	2.2	60.7	60.7	0.0	0.0	60.8	1.1	60.7
6.3	0.0	0.0	60.7	60.7	0.0	0.0	60.8	0.0	60.7
4.8	186.0	1.9	62.6	62.6	0.0	0.0	60.8	0.9	61.7
2.4	362.0	3.6	66.2	66.2	0.0	0.0	60.8	1.8	63.5
1.68	0.0	0.0	66.2	66.2	0.0	0.0	60.8	0.0	63.5
1.2	552.0	5.5	71.7	71.7	0.0	0.0	60.8	2.7	66.2
0.6	1232.0	12.3	83.9	83.9	21.8	0.6	61.3	6.4	72.6
0.3	648.0	6.4	90.4	90.4	99.0	2.6	63.9	4.5	77.1
0.15	477.0	4.7	95.1	95.1	1149.0	29.7	93.5	17.2	94.3
0.11	98.0	1.0	96.1	96.1	55.3	1.4	95.0	1.2	95.5
0.07	107.0	1.1	97.1	97.1	94.7	2.4	97.4	1.8	97.3
0.01	287.0	2.9	100.0	100.0	100.5	2.6	100.0	2.7	100.0
TOTAL	10050.0	100.0			3875.0	100.0			
M.F.			6.2				5.8		6.0

TABELA 45

BLOCO 5-10 / CICLO 10

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	557.0	5.6	5.6	5.6	767.4	16.6	16.6	11.1	11.1
50	2065.0	20.7	26.2	26.2	435.7	9.4	26.0	15.0	26.1
38	2002.0	20.0	46.2	46.2	840.6	18.2	44.2	19.1	45.2
25	1215.0	12.2	58.4	58.4	149.6	3.2	47.4	7.7	52.9
19	353.0	3.5	61.9	61.9	22.8	0.5	47.9	2.0	54.9
12.5	198.0	2.0	63.9	63.9	9.8	0.2	48.1	1.1	56.0
9.5	99.0	1.0	64.9	64.9	6.5	0.1	48.3	0.6	56.6
6.3	0.0	0.0	64.9	64.9	0.0	0.0	48.3	0.0	56.6
4.8	69.0	0.7	65.6	65.6	0.0	0.0	48.3	0.3	56.9
2.4	169.0	1.7	67.3	67.3	0.0	0.0	48.3	0.8	57.8
1.68	0.0	0.0	67.3	67.3	0.0	0.0	48.3	0.0	57.8
1.2	425.0	4.3	71.5	71.5	13.0	0.3	48.6	2.3	60.0
0.6	1085.0	10.9	82.4	82.4	71.5	1.5	50.1	6.2	66.2
0.3	717.0	7.2	89.6	89.6	278.0	6.0	56.1	6.6	72.8
0.15	522.0	5.2	94.8	94.8	1287.7	27.8	84.0	16.5	89.4
0.11	152.0	1.5	96.3	96.3	422.7	9.1	93.1	5.3	94.7
0.07	140.0	1.4	97.7	97.7	219.5	4.7	97.9	3.1	97.8
0.01	230.5	2.3	100.0	100.0	99.2	2.1	100.0	2.2	100.0
TOTAL	9998.5	100.0			4624.0	100.0			
M.F.			6.4				4.8		5.6

TABELA 46

BLOCO 5-10 / CICLO 12

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	578.0	5.8	5.8	5.8	0.0	0.0	0.0	2.9	2.9
50	337.0	3.4	9.1	9.1	420.3	17.1	17.1	10.2	13.1
38	1540.0	15.3	24.4	24.4	1038.9	42.3	59.4	28.8	41.9
25	312.0	3.1	27.5	27.5	185.9	7.6	67.0	5.3	47.3
19	74.0	0.7	28.3	28.3	0.0	0.0	67.0	0.4	47.6
12.5	17.0	0.2	28.4	28.4	0.0	0.0	67.0	0.1	47.7
9.5	27.0	0.3	28.7	28.7	0.0	0.0	67.0	0.1	47.9
6.3	0.0	0.0	28.7	28.7	0.0	0.0	67.0	0.0	47.9
4.8	144.0	1.4	30.1	30.1	48.5	2.0	69.0	1.7	49.6
2.4	271.0	2.7	32.8	32.8	38.1	1.6	70.5	2.1	51.7
1.68	0.0	0.0	32.8	32.8	0.0	0.0	70.5	0.0	51.7
1.2	674.0	6.7	39.6	39.6	28.4	1.2	71.7	3.9	55.6
0.6	2418.0	24.1	63.6	63.6	40.2	1.6	73.3	12.9	68.5
0.3	1657.0	16.5	80.1	80.1	55.5	2.3	75.6	9.4	77.8
0.15	1069.0	10.6	90.7	90.7	418.9	17.1	92.7	13.9	91.7
0.11	404.0	4.0	94.8	94.8	55.5	2.3	94.9	3.1	94.8
0.07	206.0	2.1	96.8	96.8	98.5	4.0	98.9	3.0	97.9
0.01	320.0	3.2	100.0	100.0	26.4	1.1	100.0	2.1	100.0
TOTAL	10048.0	100.0			2455.0	100.0			
M.F.			4.2				6.5		5.3

TABELA 47

BLOCO 5-10 / CICLO 14

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA	
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida
64	1138.0	11.3	11.3		570.9	19.1	19.1	15.2
50	939.0	9.3	20.6		721.6	24.2	43.3	16.7
38	907.0	9.0	29.6		637.8	21.4	64.7	15.2
25	398.0	3.9	33.5		79.6	2.7	67.4	3.3
19	61.0	0.6	34.1		0.0	0.0	67.4	0.3
12.5	214.0	2.1	36.3		0.0	0.0	67.4	1.1
9.5	67.0	0.7	36.9		0.0	0.0	67.4	0.3
6.3	0.0	0.0	36.9		0.0	0.0	67.4	0.0
4.8	153.0	1.5	38.4		60.5	2.0	69.4	1.8
2.4	239.0	2.4	40.8		40.3	1.4	70.7	1.9
1.68	0.0	0.0	40.8		0.0	0.0	70.7	0.0
1.2	499.0	4.9	45.7		31.8	1.1	71.8	3.0
0.6	2166.0	21.5	67.2		44.6	1.5	73.3	11.5
0.3	1404.0	13.9	81.1		75.3	2.5	75.8	8.2
0.15	1060.0	10.5	91.6		513.6	17.2	93.0	13.9
0.11	278.0	2.8	94.4		43.5	1.5	94.5	2.1
0.07	236.0	2.3	96.7		110.4	3.7	98.2	3.0
0.01	328.5	3.3	100.0		54.1	1.8	100.0	2.5
TOTAL	10087.5	100.0			2984.0	100.0		
M.F.			4.7				6.5	5.6

TABELA 48

BLOCO 5-10 / CICLO 16

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA	
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida
64	1334.0	13.3	13.3		692.5	25.3	25.3	19.3
50	283.0	2.8	16.1		501.6	18.3	43.6	10.6
38	1120.0	11.2	27.3		265.5	9.7	53.3	10.4
25	0.0	0.0	27.3		79.5	2.9	56.2	1.5
19	0.0	0.0	27.3		0.0	0.0	56.2	0.0
12.5	378.0	3.8	31.1		23.2	0.8	57.1	2.3
9.5	184.0	1.8	32.9		3.7	0.1	57.2	1.0
6.3	0.0	0.0	32.9		0.0	0.0	57.2	0.0
4.8	272.0	2.7	35.7		7.3	0.3	57.5	1.5
2.4	332.0	3.3	39.0		4.9	0.2	57.7	1.7
1.68	0.0	0.0	39.0		0.0	0.0	57.7	0.0
1.2	508.0	5.1	44.1		6.1	0.2	57.9	2.6
0.6	2131.0	21.3	65.3		28.1	1.0	58.9	11.2
0.3	1624.0	16.2	81.5		82.0	3.0	61.9	9.6
0.15	995.0	9.9	91.5		441.7	16.1	78.1	13.0
0.11	313.0	3.1	94.6		391.5	14.3	92.4	8.7
0.07	271.0	2.7	97.3		146.8	5.4	97.7	4.0
0.01	268.5	2.7	100.0		62.4	2.3	100.0	2.5
TOTAL	10013.5	100.0			2737.0	100.0		
M.F.			4.4				5.4	4.9

TABELA 49

BLOCO 5-10 / CICLO 18

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
50	811.0	8.1	8.1	8.1	756.9	36.2	36.2	22.2	22.2
38	1278.0	12.8	20.9	20.9	337.7	16.2	52.4	14.5	36.6
25	546.0	5.5	26.3	26.3	0.0	0.0	52.4	2.7	39.4
19	248.0	2.5	28.8	28.8	0.0	0.0	52.4	1.2	40.6
12.5	317.5	3.2	32.0	32.0	22.3	1.1	53.5	2.1	42.7
9.5	167.0	1.7	33.7	33.7	0.0	0.0	53.5	0.8	43.6
6.3	0.0	0.0	33.7	33.7	0.0	0.0	53.5	0.0	43.6
4.8	197.0	2.0	35.6	35.6	0.0	0.0	53.5	1.0	44.6
2.4	241.0	2.4	38.0	38.0	0.0	0.0	53.5	1.2	45.8
1.68	0.0	0.0	38.0	38.0	0.0	0.0	53.5	0.0	45.8
1.2	488.0	4.9	42.9	42.9	1.9	0.1	53.6	2.5	48.2
0.6	1820.0	18.2	61.1	61.1	13.0	0.6	54.2	9.4	57.6
0.3	1613.0	16.1	77.2	77.2	64.9	3.1	57.3	9.6	67.3
0.15	1325.0	13.2	90.5	90.5	324.7	15.5	72.8	14.4	81.7
0.11	308.0	3.1	93.6	93.6	129.9	6.2	79.0	4.6	86.3
0.07	289.0	2.9	96.5	96.5	270.9	13.0	92.0	7.9	94.2
0.01	353.5	3.5	100.0	100.0	167.0	8.0	100.0	5.8	100.0
TOTAL	10002.0	100.0			2089.0	100.0			
M.F.			4.3			5.0		4.7	

TABELA 50

BLOCO 5-10 / CICLO 20

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	978.0	9.8	9.8	9.8	589.4	21.1	21.1	15.4	15.4
50	1276.0	12.7	22.5	22.5	454.5	16.3	37.4	14.5	29.9
38	538.0	5.4	27.9	27.9	301.5	10.8	48.2	8.1	38.0
25	281.0	2.8	30.7	30.7	64.7	2.3	50.5	2.6	40.6
19	316.0	3.2	33.8	33.8	0.0	0.0	50.5	1.6	42.2
12.5	358.0	3.6	37.4	37.4	0.0	0.0	50.5	1.8	44.0
9.5	231.0	2.3	39.7	39.7	0.0	0.0	50.5	1.2	45.1
6.3	0.0	0.0	39.7	39.7	0.0	0.0	50.5	0.0	45.1
4.8	166.0	1.7	41.4	41.4	0.0	0.0	50.5	0.8	45.9
2.4	171.0	1.7	43.1	43.1	0.0	0.0	50.5	0.9	46.8
1.68	0.0	0.0	43.1	43.1	0.0	0.0	50.5	0.0	46.8
1.2	400.0	4.0	47.1	47.1	4.7	0.2	50.7	2.1	48.9
0.6	1494.0	14.9	62.0	62.0	37.8	1.4	52.0	8.1	57.0
0.3	1201.0	12.0	74.0	74.0	136.2	4.9	56.9	8.4	65.4
0.15	1268.0	12.7	86.6	86.6	574.6	20.6	77.5	16.6	82.1
0.11	472.0	4.7	91.3	91.3	302.1	10.8	88.3	7.8	89.8
0.07	423.0	4.2	95.6	95.6	188.8	6.8	95.1	5.5	95.3
0.01	444.5	4.4	100.0	100.0	137.6	4.9	100.0	4.7	100.0
TOTAL	10017.5	100.0			2792.0	100.0			
M.F.			4.6			4.9		4.7	

TABELA 51

BLOCO 21 / CICLO 03

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
64	2531.5	25.3	25.3	25.3	2376.7	23.8	23.8	24.5	24.5
50	2470.8	24.7	50.0	50.0	2268.2	22.7	46.5	23.7	48.2
38	4991.0	49.9	99.9	99.9	4286.1	42.9	89.4	46.4	94.6
25	0.0	0.0	99.9	99.9	264.0	2.6	92.0	1.3	95.9
19	0.0	0.0	99.9	99.9	0.0	0.0	92.0	0.0	95.9
12.5	0.0	0.0	99.9	99.9	0.0	0.0	92.0	0.0	95.9
9.5	0.0	0.0	99.9	99.9	4.3	0.0	92.1	0.0	96.0
6.3	0.0	0.0	99.9	99.9	2.7	0.0	92.1	0.0	96.0
4.8	0.0	0.0	99.9	99.9	0.0	0.0	92.1	0.0	96.0
2.4	0.0	0.0	99.9	99.9	0.6	0.0	92.1	0.0	96.0
1.68	0.0	0.0	99.9	99.9	0.2	0.0	92.1	0.0	96.0
1.2	0.0	0.0	99.9	99.9	0.2	0.0	92.1	0.0	96.0
0.6	0.0	0.0	99.9	99.9	1.3	0.0	92.1	0.0	96.0
0.3	0.0	0.0	99.9	99.9	7.6	0.1	92.2	0.0	96.0
0.15	0.0	0.0	99.9	99.9	357.0	3.6	95.8	1.8	97.8
0.11	0.0	0.0	99.9	99.9	170.9	1.7	97.5	0.9	98.7
0.07	0.0	0.0	99.9	99.9	124.8	1.2	98.7	0.6	99.3
0.01	13.4	0.1	100.0	100.0	128.7	1.3	100.0	0.7	100.0
TOTAL	10006.7	100.0			9993.3	100.0		100.0	
M.F.			9.0				8.3		8.6

TABELA 52

BLOCO 21 / CICLO 06

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
0.01	2520.2	25.1	25.1	25.1	1785.0	17.8	17.8	21.5	21.5
0.07	2506.8	25.0	50.1	50.1	2615.6	26.1	43.9	25.5	47.0
0.11	5001.3	49.8	99.9	99.9	4621.8	46.1	90.0	48.0	95.0
0.15	0.0	0.0	99.9	99.9	62.5	0.6	90.6	0.3	95.3
0.3	0.0	0.0	99.9	99.9	0.0	0.0	90.6	0.0	95.3
0.6	0.0	0.0	99.9	99.9	32.1	0.3	90.9	0.2	95.4
1.2	0.0	0.0	99.9	99.9	0.0	0.0	90.9	0.0	95.4
1.68	0.0	0.0	99.9	99.9	1.3	0.0	90.9	0.0	95.4
2.4	0.0	0.0	99.9	99.9	1.0	0.0	90.9	0.0	95.4
4.8	0.2	0.0	99.9	99.9	2.6	0.0	91.0	0.0	95.5
6.3	0.0	0.0	99.9	99.9	0.6	0.0	91.0	0.0	95.5
9.5	0.1	0.0	99.9	99.9	0.5	0.0	91.0	0.0	95.5
12.5	0.0	0.0	99.9	99.9	2.1	0.0	91.0	0.0	95.5
19	0.1	0.0	99.9	99.9	10.6	0.1	91.1	0.1	95.5
25	0.0	0.0	99.9	99.9	448.5	4.5	95.6	2.2	97.8
38	0.0	0.0	99.9	99.9	198.2	2.0	97.5	1.0	98.7
50	0.1	0.0	99.9	99.9	113.6	1.1	98.7	0.6	99.3
64	5.2	0.1	100.0	100.0	132.3	1.3	100.0	0.7	100.0
TOTAL	10034.0	100.0			10028.3	100.0		100.0	
M.F.			9.0				8.2		8.6

TABELA 53

BLOCO 21 / CICLO 09

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA	
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida
0.01	2511.2	25.0	25.0	25.0	2297.5	22.9	22.9	24.0
0.07	2515.6	25.1	50.1	50.1	1616.7	16.1	39.0	20.6
0.11	5004.1	49.8	99.9	99.9	5026.1	50.1	89.1	50.0
0.15	0.0	0.0	99.9	99.9	199.6	2.0	91.1	1.0
0.3	0.0	0.0	99.9	99.9	19.2	0.2	91.3	0.1
0.6	0.0	0.0	99.9	99.9	21.8	0.2	91.5	0.1
1.2	0.0	0.0	99.9	99.9	6.4	0.1	91.6	0.0
1.68	0.0	0.0	99.9	99.9	10.6	0.1	91.7	0.1
2.4	0.3	0.0	99.9	99.9	1.2	0.0	91.7	0.0
4.8	0.4	0.0	99.9	99.9	1.2	0.0	91.7	0.0
6.3	0.1	0.0	99.9	99.9	0.7	0.0	91.7	0.0
9.5	0.1	0.0	99.9	99.9	0.6	0.0	91.7	0.0
12.5	0.1	0.0	99.9	99.9	2.2	0.0	91.8	0.0
19	0.1	0.0	99.9	99.9	12.0	0.1	91.9	0.1
25	0.2	0.0	99.9	99.9	313.5	3.1	95.0	1.6
38	0.0	0.0	99.9	99.9	148.2	1.5	96.5	0.7
50	0.3	0.0	99.9	99.9	225.5	2.2	98.7	1.1
64	9.1	0.1	100.0	100.0	127.9	1.3	100.0	0.7
TOTAL	10041.6	100.0			10030.9	100.0		100.0
M.F.			9.0			8.3		8.6

TABELA 54

BLOCO 21 / CICLO 12

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA	
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida
0.01	2508.6	25.0	25.0	25.0	2227.2	22.3	22.3	23.7
0.07	2484.5	24.8	49.8	49.8	1918.4	19.2	41.4	22.0
0.11	5008.9	50.0	99.9	99.9	4524.6	45.2	86.7	47.6
0.15	0.0	0.0	99.9	99.9	321.8	3.2	89.9	1.6
0.3	0.0	0.0	99.9	99.9	77.6	0.8	90.7	0.4
0.6	0.0	0.0	99.9	99.9	11.1	0.1	90.8	0.1
1.2	0.0	0.0	99.9	99.9	7.4	0.1	90.9	0.0
1.68	0.0	0.0	99.9	99.9	14.7	0.1	91.0	0.1
2.4	0.0	0.0	99.9	99.9	4.7	0.0	91.1	0.0
4.8	0.3	0.0	99.9	99.9	6.1	0.1	91.1	0.0
6.3	0.0	0.0	99.9	99.9	1.6	0.0	91.1	0.0
9.5	0.2	0.0	99.9	99.9	1.3	0.0	91.1	0.0
12.5	0.3	0.0	99.9	99.9	3.8	0.0	91.2	0.0
19	0.3	0.0	99.9	99.9	12.4	0.1	91.3	0.1
25	0.2	0.0	99.9	99.9	311.3	3.1	94.4	1.6
38	0.2	0.0	99.9	99.9	231.2	2.3	96.7	1.2
50	0.2	0.0	99.9	99.9	138.7	1.4	98.1	0.7
64	13.0	0.1	100.0	100.0	188.1	1.9	100.0	1.0
TOTAL	10016.7	100.0			10002.0	100.0		100.0
M.F.			9.0			8.2		8.6

TABELA 55

BLOCO 21 / CICLO 18

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASAO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
0.01	2495.5	25.0	25.0	25.0	2310.7	23.2	23.2	24.1	24.1
0.07	2491.3	25.0	49.9	49.9	2236.4	22.4	45.6	23.7	47.8
0.11	4984.7	49.9	99.9	99.9	4246.9	42.6	88.2	46.3	94.0
0.15	0.0	0.0	99.9	99.9	340.2	3.4	91.6	1.7	95.7
0.3	0.0	0.0	99.9	99.9	0.0	0.0	91.6	0.0	95.7
0.6	0.0	0.0	99.9	99.9	0.0	0.0	91.6	0.0	95.7
1.2	0.0	0.0	99.9	99.9	0.0	0.0	91.6	0.0	95.7
1.68	0.8	0.0	99.9	99.9	1.7	0.0	91.6	0.0	95.8
2.4	0.3	0.0	99.9	99.9	0.0	0.0	91.6	0.0	95.8
4.8	0.0	0.0	99.9	99.9	1.3	0.0	91.6	0.0	95.8
6.3	0.2	0.0	99.9	99.9	0.6	0.0	91.6	0.0	95.8
9.5	0.2	0.0	99.9	99.9	0.6	0.0	91.6	0.0	95.8
12.5	0.2	0.0	99.9	99.9	1.8	0.0	91.7	0.0	95.8
19	0.3	0.0	99.9	99.9	8.3	0.1	91.7	0.0	95.8
25	0.2	0.0	99.9	99.9	410.3	4.1	95.9	2.1	97.9
38	0.0	0.0	99.9	99.9	165.5	1.7	97.5	0.8	98.7
50	0.1	0.0	99.9	99.9	107.1	1.1	98.6	0.5	99.2
64	9.9	0.1	100.0	100.0	140.1	1.4	100.0	0.8	100.0
TOTAL	9983.7	100.0		9971.5	100.0		100.0		
M.F.			9.0			8.3		8.6	

TABELA 56

BLOCO 21 / CICLO 24

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMETRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
0.01	2498.2	24.9	24.9	24.9	2269.9	22.7	22.7	23.8	23.8
0.07	2516.5	25.1	50.0	50.0	2220.8	22.2	44.8	23.6	47.4
0.11	5002.0	49.9	99.9	99.9	4067.2	40.6	85.4	45.2	92.7
0.15	0.0	0.0	99.9	99.9	532.6	5.3	90.8	2.7	95.3
0.3	0.0	0.0	99.9	99.9	71.7	0.7	91.5	0.4	95.7
0.6	0.0	0.0	99.9	99.9	34.0	0.3	91.8	0.2	95.8
1.2	0.0	0.0	99.9	99.9	5.9	0.1	91.9	0.0	95.9
1.68	0.0	0.0	99.9	99.9	4.4	0.0	91.9	0.0	95.9
2.4	0.0	0.0	99.9	99.9	0.0	0.0	91.9	0.0	95.9
4.8	0.3	0.0	99.9	99.9	2.0	0.0	91.9	0.0	95.9
6.3	0.1	0.0	99.9	99.9	0.5	0.0	91.9	0.0	95.9
9.5	0.1	0.0	99.9	99.9	0.1	0.0	91.9	0.0	95.9
12.5	0.2	0.0	99.9	99.9	1.4	0.0	92.0	0.0	95.9
19	0.3	0.0	99.9	99.9	16.6	0.2	92.1	0.1	96.0
25	0.3	0.0	99.9	99.9	342.3	3.4	95.5	1.7	97.7
38	0.1	0.0	99.9	99.9	158.1	1.6	97.1	0.8	98.5
50	0.1	0.0	99.9	99.9	120.9	1.2	98.3	0.6	99.1
64	11.9	0.1	100.0	100.0	168.3	1.7	100.0	0.9	100.0
TOTAL	10030.1	100.0		10016.7	100.0		100.0		
M.F.			9.0			8.2		8.6	

TABELA 57

BLOCO 21 / CICLO 30

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA	
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida
0.01	2512.4	25.1	25.1	25.1	2358.1	23.6	23.6	24.3
0.07	2491.8	24.9	50.0	50.0	2300.7	23.0	46.6	24.0
0.11	4991.6	49.9	99.8	99.8	4372.8	43.7	90.4	46.8
0.15	0.0	0.0	99.8	99.8	81.9	0.8	91.2	0.4
0.3	0.0	0.0	99.8	99.8	21.2	0.2	91.4	0.1
0.6	0.0	0.0	99.8	99.8	25.9	0.3	91.6	0.1
1.2	0.9	0.0	99.8	99.8	0.0	0.0	91.6	0.0
1.68	0.8	0.0	99.9	99.9	4.6	0.0	91.7	0.0
2.4	0.4	0.0	99.9	99.9	0.7	0.0	91.7	0.0
4.8	0.2	0.0	99.9	99.9	0.7	0.0	91.7	0.0
6.3	0.3	0.0	99.9	99.9	0.8	0.0	91.7	0.0
9.5	0.0	0.0	99.9	99.9	0.6	0.0	91.7	0.0
12.5	0.1	0.0	99.9	99.9	2.1	0.0	91.7	0.0
19	0.1	0.0	99.9	99.9	10.9	0.1	91.8	0.1
25	0.1	0.0	99.9	99.9	350.1	3.5	95.4	1.8
38	0.0	0.0	99.9	99.9	191.2	1.9	97.3	1.0
50	0.0	0.0	99.9	99.9	137.0	1.4	98.6	0.7
64	13.4	0.1	100.0	100.0	136.5	1.4	100.0	0.7
TOTAL	10012.1	100.0		9995.8	100.0		100.0	
M.F.			9.0			8.3		8.6

TABELA 58

BLOCO 21 / CICLO 36

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASAO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA	
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida
0.01	2522.4	25.2	25.2	25.2	2276.8	22.8	22.8	24.0
0.07	2494.3	24.9	50.0	50.0	2211.7	22.2	45.0	23.5
0.11	4963.0	49.5	99.5	99.5	3657.9	36.7	81.6	43.1
0.15	44.4	0.4	100.0	100.0	866.6	8.7	90.3	4.6
0.3	0.0	0.0	100.0	100.0	74.6	0.7	91.1	0.4
0.6	0.0	0.0	100.0	100.0	8.1	0.1	91.1	0.0
1.2	0.0	0.0	100.0	100.0	16.1	0.2	91.3	0.1
1.68	0.7	0.0	100.0	100.0	18.0	0.2	91.5	0.1
2.4	0.0	0.0	100.0	100.0	3.0	0.0	91.5	0.0
4.8	0.3	0.0	100.0	100.0	4.6	0.0	91.6	0.0
6.3	0.2	0.0	100.0	100.0	1.1	0.0	91.6	0.0
9.5	0.1	0.0	100.0	100.0	1.1	0.0	91.6	0.0
12.5	0.2	0.0	100.0	100.0	3.6	0.0	91.6	0.0
19	0.2	0.0	100.0	100.0	13.4	0.1	91.8	0.1
25	0.3	0.0	100.0	100.0	314.8	3.2	94.9	1.6
38	0.1	0.0	100.0	100.0	274.0	2.7	97.7	1.4
50	0.1	0.0	100.0	100.0	85.0	0.9	98.5	0.4
64	1.7	0.0	100.0	100.0	149.3	1.5	100.0	0.8
TOTAL	10028.0	100.0		9979.7	100.0		100.0	
M.F.			9.0			8.2		8.6

TABELA 59

BLOCO 21 / CICLO 42

PENEIRAS	APOS CICLAGEM			APOS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
0.01	2491.0	24.9	24.9	24.9	2286.7	23.0	23.0	23.9	23.9
0.07	2475.2	24.8	49.7	49.7	2142.7	21.5	44.5	23.1	47.1
0.11	4993.2	50.0	99.7	99.7	4445.2	44.6	89.1	47.3	94.4
0.15	0.0	0.0	99.7	99.7	108.9	1.1	90.2	0.5	94.9
0.3	0.0	0.0	99.7	99.7	68.5	0.7	90.9	0.3	95.3
0.6	0.0	0.0	99.7	99.7	21.3	0.2	91.1	0.1	95.4
1.2	0.0	0.0	99.7	99.7	12.7	0.1	91.2	0.1	95.4
1.68	0.0	0.0	99.7	99.7	3.6	0.0	91.3	0.0	95.5
2.4	0.3	0.0	99.7	99.7	2.9	0.0	91.3	0.0	95.5
4.8	0.2	0.0	99.7	99.7	2.4	0.0	91.3	0.0	95.5
6.3	0.2	0.0	99.7	99.7	1.0	0.0	91.3	0.0	95.5
9.5	0.1	0.0	99.7	99.7	0.9	0.0	91.3	0.0	95.5
12.5	0.0	0.0	99.7	99.7	2.7	0.0	91.4	0.0	95.5
19	0.0	0.0	99.7	99.7	9.0	0.1	91.5	0.0	95.6
25	0.0	0.0	99.7	99.7	307.3	3.1	94.5	1.5	97.1
38	0.0	0.0	99.7	99.7	199.6	2.0	96.5	1.0	98.1
50	0.0	0.0	99.7	99.7	159.7	1.6	98.1	0.8	98.9
64	32.6	0.3	100.0	100.0	184.3	1.9	100.0	1.1	100.0
TOTAL	9992.8	100.0			9959.4	100.0		100.0	
M.F.			9.0				8.2		8.6

TABELA 60

BLOCO 21 / CICLO 48

PENEIRAS	APOS CICLAGEM			APOS ABRASÃO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA		
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida	% acum.
0.01	2516.4	25.1	25.1	25.1	2362.1	23.6	23.6	24.3	24.3
0.07	2517.8	25.1	50.1	50.1	1912.9	19.1	42.7	22.1	46.4
0.11	4977.8	49.6	99.7	99.7	3939.8	39.4	82.0	44.5	90.9
0.15	0.0	0.0	99.7	99.7	827.2	8.3	90.3	4.1	95.0
0.3	0.0	0.0	99.7	99.7	28.5	0.3	90.6	0.1	95.2
0.6	2.4	0.0	99.8	99.8	14.0	0.1	90.7	0.1	95.2
1.2	0.0	0.0	99.8	99.8	12.0	0.1	90.9	0.1	95.3
1.68	0.2	0.0	99.8	99.8	2.3	0.0	90.9	0.0	95.3
2.4	0.6	0.0	99.8	99.8	2.4	0.0	90.9	0.0	95.3
4.8	0.4	0.0	99.8	99.8	4.0	0.0	90.9	0.0	95.4
6.3	0.1	0.0	99.8	99.8	1.7	0.0	91.0	0.0	95.4
9.5	0.1	0.0	99.8	99.8	1.5	0.0	91.0	0.0	95.4
12.5	0.1	0.0	99.8	99.8	4.3	0.0	91.0	0.0	95.4
19	0.2	0.0	99.8	99.8	13.0	0.1	91.1	0.1	95.5
25	0.1	0.0	99.8	99.8	407.3	4.1	95.2	2.0	97.5
38	0.0	0.0	99.8	99.8	212.2	2.1	97.3	1.1	98.6
50	0.0	0.0	99.8	99.8	142.2	1.4	98.8	0.7	99.3
64	22.8	0.2	100.0	100.0	124.6	1.2	100.0	0.7	100.0
TOTAL	10039.0	100.0			10012.0	100.0		100.0	
M.F.			9.0				8.1		8.6

TABELA 61

BLOCO 21 / CICLO 54

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASAO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA	
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida
0.01	2478.1	24.8	24.8	24.8	2028.7	20.4	20.4	22.6
0.07	2493.7	25.0	49.8	49.8	2325.0	23.4	43.9	24.2
0.11	4952.3	49.6	99.3	99.3	4265.4	43.0	86.9	46.3
0.15	22.1	0.2	99.6	99.6	442.1	4.5	91.3	2.3
0.3	11.3	0.1	99.7	99.7	67.4	0.7	92.0	0.4
0.6	0.0	0.0	99.7	99.7	14.3	0.1	92.1	0.1
1.2	0.0	0.0	99.7	99.7	8.3	0.1	92.2	0.0
1.68	1.4	0.0	99.7	99.7	12.3	0.1	92.3	0.1
2.4	0.3	0.0	99.7	99.7	1.8	0.0	92.4	0.0
4.8	0.4	0.0	99.7	99.7	1.3	0.0	92.4	0.0
6.3	0.1	0.0	99.7	99.7	0.6	0.0	92.4	0.0
9.5	0.1	0.0	99.7	99.7	0.6	0.0	92.4	0.0
12.5	0.2	0.0	99.7	99.7	1.2	0.0	92.4	0.0
19	0.0	0.0	99.7	99.7	7.2	0.1	92.5	0.0
25	0.0	0.0	99.7	99.7	347.2	3.5	96.0	1.7
38	0.0	0.0	99.7	99.7	163.8	1.7	97.6	0.8
/ 50	0.0	0.0	99.7	99.7	100.9	1.0	98.6	0.5
64	30.2	0.3	100.0	100.0	110.6	1.1	99.7	0.7
TOTAL	9990.2	100.0			9924.1	100.0		100.0
M.F.			9.0			8.3		8.6

TABELA 62

BLOCO 21 / CICLO 60

PENEIRAS	APÓS CICLAGEM			APÓS ABRASAO			DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA MÉDIA	
	abertura (mm)	m. retida (g)	% retida	% acum.	m. retida (g)	% retida	% acum.	% retida
0.01	2470.4	24.7	24.7	24.7	2322.2	23.3	23.3	24.0
0.07	2475.6	24.7	49.4	49.4	1647.9	16.5	39.8	20.6
0.11	5025.0	50.2	99.6	99.6	4914.1	49.3	89.1	49.7
0.15	0.0	0.0	99.6	99.6	318.6	3.2	92.3	1.6
0.3	6.8	0.1	99.7	99.7	0.0	0.0	92.3	0.0
0.6	4.5	0.0	99.7	99.7	25.4	0.3	92.6	0.1
1.2	0.0	0.0	99.7	99.7	1.6	0.0	92.6	0.0
1.68	0.0	0.0	99.7	99.7	4.2	0.0	92.6	0.0
2.4	0.7	0.0	99.8	99.8	0.6	0.0	92.6	0.0
4.8	0.7	0.0	99.8	99.8	1.4	0.0	92.6	0.0
6.3	0.1	0.0	99.8	99.8	0.6	0.0	92.6	0.0
9.5	0.2	0.0	99.8	99.8	0.6	0.0	92.6	0.0
12.5	0.0	0.0	99.8	99.8	1.5	0.0	92.7	0.0
19	0.0	0.0	99.8	99.8	6.0	0.1	92.7	0.0
25	0.0	0.0	99.8	99.8	293.0	2.9	95.7	1.5
38	0.0	0.0	99.8	99.8	172.0	1.7	97.4	0.9
50	0.0	0.0	99.8	99.8	113.6	1.1	98.5	0.6
64	23.9	0.2	100.0	100.0	147.7	1.5	100.0	0.9
TOTAL	10007.9	100.0			9971.0	100.0		100.0
M.F.			9.0			8.3		8.7